

Rapport sur le développement dans le monde

2010

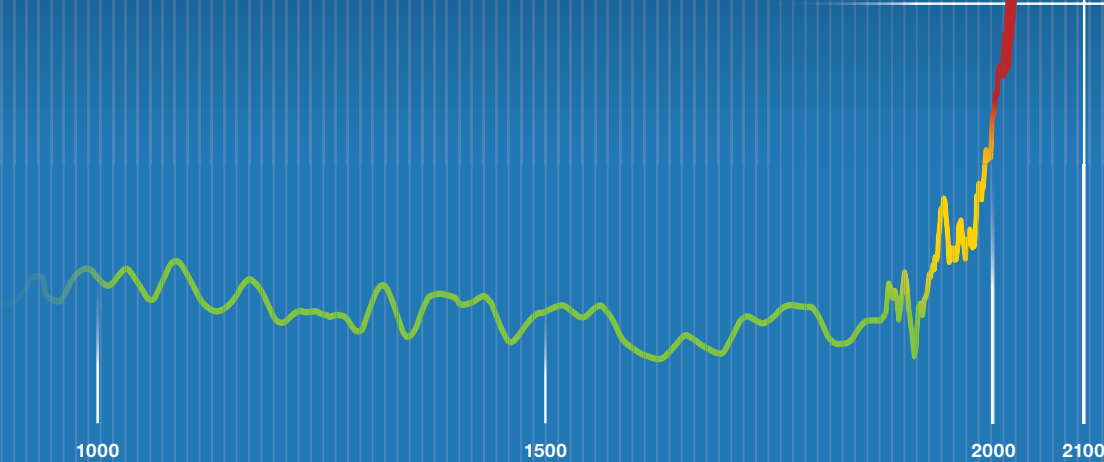


+3°

+2°

+1°

Développement et changement climatique



1000

1500

2000

2100



THE WORLD BANK

PEARSON

rapport sur le développement
dans le monde 2010

*Développement
et changement climatique*



BANQUE MONDIALE

© 2010 The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank
1818 H Street NW
Washington, DC 20433,
États-Unis d'Amérique
Téléphone : 202-473-1000
Site web : www.worldbank.org

Tous droits réservés

1 2 3 4 13 12 11 10

Le présent rapport a été établi par les services de la Banque internationale pour la reconstruction et le développement / Banque mondiale. Les observations, interprétations et opinions qui y sont exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues du Conseil des administrateurs de la Banque mondiale ni des pays que ceux-ci représentent.

La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude des données citées dans cet ouvrage. Les frontières, les couleurs, les dénominations et toute autre information figurant sur les cartes du présent rapport n'impliquent de la part de la Banque mondiale aucun jugement quant au statut juridique d'un territoire quelconque et ne signifient nullement que l'institution reconnaît ou accepte ces frontières.

Droits et licences

Le contenu de cette publication fait l'objet d'un dépôt légal. La publication ou la transmission d'une partie ou de l'intégralité de la présente publication peut constituer une violation de la loi applicable. La Banque internationale pour la reconstruction et le développement/Banque mondiale encourage la diffusion de ses études et, normalement, accorde sans délai l'autorisation d'en reproduire des passages.

Pour obtenir l'autorisation de reproduire ou de réimprimer toute partie de cette publication, veuillez adresser votre demande en fournissant tous les renseignements nécessaires, par courrier, au Copyright Clearance Center Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA ; téléphone : 978-750-8400 ;

télécopie : 978-750-4470 ; site web : www.copyright.com.

Pour tout autre renseignement sur les droits et licences, y compris les droits dérivés, envoyez votre demande, par courrier, à l'adresse suivante : Office of the Publisher, The World Bank, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA ; par télécopie, au 202-522- 2422 ; ou par courriel à l'adresse : pubrights@worldbank.org.

Version imprimée

ISBN : 978-2-7440-7460-8

Maquette de couverture : Rock Creek Strategic Marketing

Représentations de la planète en couverture : Norman Kuring, Ocean Biology Processing Group, National Aeronautics and Space Administration (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>)

Conception : Naylor Design, Inc.

Photocomposition : Precision Graphics

Photos : Gary Braasch : Abrégé, chapitres 3, 4, 5, 7 ; Corbis : chapitres 1, 2, 6, 8

De plus amples informations sur le Rapport sur le développement dans le monde 2010 sont disponibles à l'adresse <http://www.worldbank.org/wdr>.

Table des matières du Rapport sur le développement dans le monde 2010

Avant-propos *XI*

Remerciements *XIII*

Sigles, abréviations et notes sur les données *XIV*

Notes sur les données *XV*

Abrégé : Pour un climat favorable au développement **1**

De bonnes raisons d’agir 4

Un monde intelligent sur le plan climatique est à portée de main à condition d’agir maintenant, ensemble et autrement 11

Pour passer à l’acte : De nouvelles pressions, de nouveaux instruments et de nouvelles ressources 22

1 Comprendre les liens entre le changement climatique et le développement **39**

Si rien n’est fait pour en atténuer les effets, le changement climatique sera incompatible avec un développement durable 41

Évaluer les arbitrages à opérer 50

Thème A : Les bases scientifiques du changement climatique *71*

Fonctionnement du système climatique 73

Variations climatiques observées à ce jour et incidences de l’évolution des connaissances sur les bases scientifiques du changement climatique 75

Changements à prévoir dans l’hypothèse d’un réchauffement supérieur à 2 °C 78

Première partie

- 2 Rendre l'humanité moins vulnérable en aidant les populations à s'aider elles-mêmes 89**
- Gestion évolutive : vivre avec le changement 91
 - Gérer les risques physiques : éviter ce qui peut l'être 93
 - Gérer les risques financiers : des instruments souples pour les imprévus 103
 - Gérer les risques sociaux : donner aux communautés les moyens de se protéger elles-mêmes 108
 - Horizon 2050 : à quoi ressemblera le monde ? 114
 - Thème B : La biodiversité et les services des écosystèmes face au changement climatique 124*
 - Menaces sur la biodiversité et les services des écosystèmes 124
 - Que peut-on faire ? 126
 - Rémunération des services des écosystèmes 128
 - Adaptation basée sur l'écosystème 130
- 3 Gérer les terres et l'eau afin de nourrir neuf milliards d'êtres humains et de protéger les systèmes naturels 135**
- Poser les bases d'une bonne gestion des ressources naturelles 136
 - Mieux exploiter et mieux protéger les ressources en eau 139
 - Augmenter la production agricole tout en protégeant l'environnement 147
 - Pêches et aquaculture : Produire plus et mieux protéger 159
 - Établir des accords internationaux flexibles 161
 - Des informations fiables : Une condition *sine qua non* pour bien gérer les ressources naturelles 164
 - Le niveau des prix du carbone, des denrées alimentaires et de l'énergie 170
- 4 Stimuler le développement sans nuire au climat 187**
- Maintenir un juste équilibre entre des objectifs concurrents 189
 - La voie à suivre : tendre vers un monde viable sur le plan énergétique 195
 - Réaliser des économies grâce à l'amélioration des rendements énergétiques 210
 - Utiliser plus largement les technologies à faible intensité de carbone existantes 219
 - Accélérer l'innovation et le développement de technologies de pointe 223
 - Il faut intégrer les stratégies 224

Deuxième partie

5 Intégrer le développement dans un régime climatique mondial 233

Ériger un régime climatique en réconciliant l'action climatique et l'action de développement 233

Options proposées pour intégrer l'action menée par les pays en développement dans l'architecture mondiale 240

Appui à l'action d'atténuation dans les pays en développement 245

Promouvoir les efforts internationaux visant à intégrer l'adaptation dans un développement intelligent sur le plan climatique 247

Thème C : Le commerce et le changement climatique 250

Évolution récente de la situation 251

Un programme d'actions positives 253

La voie de l'avenir dans le domaine du commerce et dans celui du changement climatique 254

6 Générer les financements nécessaires à l'atténuation et à l'adaptation 257

Le déficit de financement 258

Inefficacités des instruments actuels de financement de l'action climatique 263

Accroître l'ampleur du financement de l'action climatique 268

Veiller à une utilisation transparente, rationnelle et équitable des fonds 277

Assurer une correspondance entre les besoins et les sources de financement 279

7 Accélérer l'innovation et la diffusion de nouvelles technologies 287

Des outils, technologies et institutions appropriés peuvent mettre un monde intelligent sur le plan climatique à notre portée 289

La collaboration internationale et le partage des coûts peuvent mobiliser des efforts nationaux pour promouvoir l'innovation 294

Les institutions, politiques et programmes publics favorisent l'innovation et accélèrent sa diffusion 305

8 Surmonter l'inertie des institutions et des comportements 321

Tirer parti des changements de comportements individuels 322

Refaire une place à l'État 331

Envisager la stratégie climatique d'un point de vue politique 336

Le développement intelligent sur le plan climatique commence chez soi 341

Note bibliographique 347**Glossaire 351****Indicateurs sélectionnés 357**

| | |
|---|-----|
| Grands indicateurs du développement dans le monde | 357 |
| Définitions et notes | 366 |
| Symboles et agrégats | 370 |

Grands indicateurs du développement dans le monde 2010 371

| | |
|---|-----|
| Sources de données et méthodes | 371 |
| Classification des économies et chiffres récapitulatifs | 372 |
| Terminologie et couverture des données | 372 |
| Notes techniques | 372 |
| Symboles | 372 |
| Conventions typographiques | 373 |
| Notes techniques | 387 |
| Méthodes statistiques | 394 |
| Méthode de l'Atlas de la Banque mondiale | 395 |

Index 397**Encadrés**

| | | | | | |
|-----|---|----|------|--|-----|
| 1 | Toutes les régions en développement sont vulnérables aux impacts du changement climatique, pour des raisons diverses | 7 | TA.1 | Le cycle du carbone | 72 |
| 2 | La croissance économique : une condition nécessaire, mais pas suffisante | 8 | TA.2 | Santé des océans : Récifs coralliens et acidification des océans | 80 |
| 3 | Le coût de « l'assurance climatique » | 10 | 2.1 | Les caractéristiques de la gestion évolutive | 92 |
| 4 | Les filets de protection : de la garantie de ressources à la réduction de la vulnérabilité au changement climatique | 15 | 2.2 | Concevoir des villes plus vertes et plus sûres : l'exemple de Curitiba | 95 |
| 5 | Des approches prometteuses qui sont bonnes pour les agriculteurs et bonnes pour l'environnement | 20 | 2.3 | L'adaptation au changement climatique : Alexandrie, Casablanca et Tunis | 95 |
| 6 | Appel à l'ingéniosité : de nouveaux outils et de nouvelles connaissances seront nécessaires à l'adaptation | 21 | 2.4 | Promouvoir les synergies entre l'atténuation et l'adaptation | 97 |
| 7 | Les villes réduisent leur empreinte carbone | 23 | 2.5 | Se préparer aux vagues de chaleur | 98 |
| 8 | Le rôle de l'affectation des terres, de l'agriculture et de la foresterie dans la gestion du changement climatique | 28 | 2.6 | Déjouer les obstacles et prendre les devants : gérer le risque des phénomènes extrêmes avant qu'ils ne virent à la catastrophe | 102 |
| 8 | Le rôle de l'affectation des terres, de l'agriculture et de la foresterie dans la gestion du changement climatique (suite) | 29 | 2.7 | Les données satellitaires et les informations géographiques contribuent à la gestion des risques – et sont peu coûteuses | 103 |
| 1.1 | Les femmes qui accèdent à l'autonomie contribuent à renforcer l'efficacité des actions d'adaptation et d'atténuation | 45 | 2.8 | Créer des emplois pour réduire les risques d'inondations | 103 |
| 1.2 | Principes fondamentaux de l'actualisation des coûts et avantages de l'atténuation du changement climatique | 51 | 2.9 | Les partenariats public-privé et le partage des risques climatiques : l'assurance du bétail en Mongolie | 104 |
| 1.3 | Rétroactions positives, points de basculement, effets de seuil et non-linéarités dans les systèmes naturels et socioéconomiques | 53 | 2.10 | Le Mécanisme d'assurance contre les risques liés aux catastrophes dans les Caraïbes : l'assurance contre l'interruption des services après des catastrophes. | 106 |
| 1.4 | Éthique et changement climatique | 56 | 2.11 | Inde : le système d'allocation conditionnelle dans le cadre de la loi nationale sur la garantie de l'emploi en zone rurale | 111 |
| | | | 2.12 | Les migrations aujourd'hui | 112 |

| | | | | | |
|------|---|-----|------|---|-----|
| TB.1 | Qu'est-ce que la biodiversité ? Que sont les services des écosystèmes ? | 124 | 5.2 | Mécanismes proposés pour le partage de la charge | 238 |
| TB.2 | Rémunération des services des écosystèmes et des services d'atténuation | 128 | 5.3 | Les approches à plusieurs vitesses donnent de bons résultats au plan de l'efficacité et de l'équité | 242 |
| TB.3 | Extraits de la Déclaration des populations autochtones sur le changement climatique | 130 | TC.1 | La taxation du contenu carbone | 252 |
| 3.1 | Prise de décision robuste : Une nouvelle manière de gérer les ressources en eau | 142 | 6.1 | Estimation des coûts d'adaptation au changement climatique dans les pays en développement | 261 |
| 3.2 | Les dangers de créer un marché des droits sur l'eau avant la mise en place de structures institutionnelles | 144 | 6.2 | Évaluation des avantages connexes du MDP | 266 |
| 3.3 | La gestion des ressources en eau en Tunisie | 145 | 6.3 | Taxes sur le carbone et mécanisme de plafonnement et d'échange | 269 |
| 3.4 | Huile de palme, réduction des émissions et déboisement évité | 150 | 6.4 | L'engagement du Ministère indonésien des finances face au changement climatique | 271 |
| 3.5 | Diversification des produits et des marchés : Une autre option économique et écologique pour les paysans cultivant des terres à rendement marginal dans les tropiques | 154 | 6.5 | Conservation du carbone dans les terres agricoles | 275 |
| 3.6 | Des cultures biotechnologiques pour aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique | 157 | 6.6 | Allocation des financements concessionnels en faveur du développement | 278 |
| 3.7 | Le biochar : Une solution prometteuse pour piéger le carbone et augmenter les rendements sur une grande échelle | 158 | 6.7 | Vulnérabilité climatique et capacité sociale | 280 |
| 3.8 | Les responsables de l'action publique au Maroc doivent rechercher un équilibre difficile pour maîtriser les importations de céréales | 162 | 6.8 | Vulnérabilité climatique et capacité d'adaptation | 281 |
| 3.9 | Projets pilotes de marché carbone agricole au Kenya | 174 | 7.1 | La géo-ingénierie ou comment sauver le monde du changement climatique | 290 |
| 4.1 | La crise financière est l'occasion de promouvoir les énergies efficaces et propres | 188 | 7.2 | L'innovation est un processus désordonné et ne peut être encouragée que grâce à des politiques visant de multiples éléments d'un système complexe | 295 |
| 4.2 | Une énergie efficace et propre peut avoir des effets positifs sur le développement | 190 | 7.3 | Pour une surveillance novatrice : création d'un service climatique mondial et d'un « système de systèmes » | 296 |
| 4.3 | Une concentration de 450 ppm de CO ₂ e (correspondant à un réchauffement de 2 °C) exigerait une modification fondamentale du système énergétique mondial | 198 | 7.4 | ITER : Un exemple de lancement laborieux d'un système de partage des coûts de R-D dans le domaine énergétique | 299 |
| 4.4 | Le bouquet énergétique régional selon le scénario de 450 ppm de CO ₂ e (visant à limiter de réchauffement 2 °C) | 201 | 7.5 | Les technologies permettant de piéger et de stocker le carbone à l'échelle requise nécessitent des efforts d'envergure internationale | 300 |
| 4.5 | Les technologies de l'énergie renouvelable ont un énorme potentiel, mais se heurtent à des contraintes | 206 | 7.6 | Le réfrigérateur à haut rendement : un programme novateur de garantie de marché ? | 301 |
| 4.6 | Technologies de pointe | 209 | 7.7 | Une innovation prometteuse pour l'adaptation côtière | 303 |
| 4.7 | Le rôle de la politique urbaine dans l'atténuation du changement climatique et la réalisation d'avantages connexes au plan du développement | 210 | 7.8 | Les universités doivent innover : le cas de l'Afrique | 306 |
| 4.8 | La maîtrise de l'énergie se heurte à de nombreux obstacles et défaillances sur le marché ainsi qu'à des obstacles non commerciaux | 213 | 7.9 | Le CGIAR : un modèle à retenir pour la lutte contre le changement climatique ? | 308 |
| 4.9 | La tarification du carbone ne suffit pas | 213 | 7.10 | L'utilisation de fourneaux améliorés pour la cuisson des aliments peut réduire la production de suie et présente d'importants avantages pour la santé humaine et pour l'atténuation | 313 |
| 4.10 | Les programmes californiens de rendement énergétique et d'énergie renouvelable | 216 | 8.1 | La mauvaise communication du besoin d'agir dans le domaine climatique | 323 |
| 4.11 | L'expérience de la Banque mondiale dans le domaine du financement des mesures d'efficacité énergétique | 217 | 8.2 | La mauvaise compréhension de la dynamique du changement climatique encourage l'apathie | 325 |
| 4.12 | Il est difficile de comparer les coûts des technologies énergétiques : Une question d'hypothèses | 218 | 8.3 | Comment notre perception des risques peut contrecarrer les politiques : la gestion des risques d'inondation | 325 |
| 4.13 | Le Danemark assure sa croissance économique tout en réduisant ses émissions | 219 | 8.4 | Les communautés contribuent pleinement à la réduction des risques de glissement de terrain dans les Caraïbes | 328 |
| 4.14 | Lois sur le rachat d'électricité, concessions, crédits d'impôt et normes de portefeuille d'énergies renouvelables en Allemagne, en Chine et aux États-Unis | 220 | 8.5 | La communication sur le changement climatique | 328 |
| 4.15 | Énergie solaire concentrée au Moyen-Orient et en Afrique du Nord | 222 | 8.6 | L'intégration de l'éducation climatique dans les programmes scolaires | 329 |
| 5.1 | Le régime climatique actuel | 234 | 8.7 | Les réformes institutionnelles engagées par la Chine et l'Inde en matière climatique | 334 |
| | | | 8.8 | Les Programmes d'action nationaux pour l'adaptation au changement climatique | 335 |

- | | | | | | |
|------|---|-----|------|--|-----|
| 8.9 | Le renforcement de la responsabilité du gouvernement en matière climatique au Royaume-Uni | 335 | 8.11 | Mobiliser le soutien au mécanisme de plafonnement et d'échange | 340 |
| 8.10 | Le fédéralisme vert et la politique du changement climatique | 337 | 8.12 | Les pratiques du secteur privé évoluent même en l'absence de législation nationale | 342 |
| 8.10 | Le fédéralisme vert et la politique du changement climatique (suite) | 338 | | | |

Figures

- | | | | | | |
|------|--|----|------|--|-----|
| 1 | Des empreintes inégales : les émissions par habitant des pays à faible revenu, à revenu intermédiaire et à revenu élevé, 2005 | 2 | TA.5 | Des braises ardentes toujours plus chaudes : En 2007, l'évaluation des risques et des dommages liés au réchauffement climatique a été révisée à la hausse par rapport à 2001 | 77 |
| 2 | Une question de rééquilibrage : remplacer les VLT par des voitures particulières consommant peu de carburant ne serait-ce qu'aux États-Unis compenserait pratiquement les émissions résultant de l'alimentation en électricité de 1,6 milliards de personnes de plus | 3 | TA.6 | Impacts prévus du changement climatique, par région | 79 |
| 3 | Les pays à revenu élevé ont, de tous temps, contribué de manière disproportionnée aux émissions mondiales. C'est encore le cas aujourd'hui | 4 | TA.7 | Limitation du réchauffement à 2 °C au-dessus des températures préindustrielles : Scénarios envisageables | 83 |
| 4 | Des émissions de CO ₂ démesurées | 5 | 2.1 | Augmentation du nombre de personnes touchées par les catastrophes climatiques | 100 |
| 5 | Que nous réserve l'avenir ? Deux options parmi bien d'autres : Une politique de laisser faire ou un vigoureux effort d'atténuation | 12 | 2.2 | Les inondations se multiplient, même dans les zones d'Afrique sujettes à la sécheresse | 101 |
| 6 | Les impacts climatiques sont de longue durée : Hausses des températures et du niveau de la mer associées à de plus fortes concentrations de CO ₂ | 13 | 2.3 | Les services d'assurance sont limités dans les pays en développement | 105 |
| 7 | Émissions mondiales de CO ₂ e par secteur : Les grandes sources d'émissions sont l'énergie mais aussi l'agriculture et la foresterie | 16 | 2.4 | Faire reculer le désert grâce aux savoirs des populations autochtones, à l'action des agriculteurs et à l'apprentissage social | 109 |
| 8 | Il faudra toute la panoplie des mesures et des technologies de pointe existantes, et non pas une arme magique, pour placer le monde sur une trajectoire de réchauffement de 2 °C | 17 | 3.1 | Le changement climatique dans un bassin versant type se fera sentir tout au long du cycle hydrologique | 138 |
| 9 | L'anticipation d'une forte demande a fait baisser les coûts du photovoltaïque solaire en encourageant une production à plus grande échelle | 18 | 3.2 | L'eau douce des cours d'eau représente une très petite partie de l'eau disponible sur la planète – et l'agriculture est le principal consommateur d'eau | 141 |
| 10 | L'écart est important : comparaison des estimations des surcoûts annuels de l'action climatique pour assurer une trajectoire à 2 °C par rapport aux ressources actuelles | 26 | 3.3 | La production de viande consomme beaucoup plus d'eau que les principales cultures | 149 |
| 1.1 | Les émissions individuelles enregistrées dans les pays à revenu élevé sont considérablement supérieures à celles relevées dans les pays en développement | 41 | 3.4 | L'élevage intensif du bœuf est un secteur très émetteur de gaz à effet de serre | 151 |
| 1.2 | Aux États-Unis, les biocarburants à base de maïs produisent davantage d'émissions de CO ₂ et génèrent des coûts de santé plus élevés que l'essence | 48 | 3.5 | La productivité agricole devra augmenter encore plus vite du fait du changement climatique | 151 |
| 1.3 | Évaluation des pertes de bien-être collectif découlant d'une participation partielle à un accord climatique | 60 | 3.6 | Une grande partie des écosystèmes a déjà été convertie à un usage agricole | 153 |
| 1.4 | La part des programmes de relance consacrée à l'environnement est en augmentation | 62 | 3.7 | Simulation informatique d'une utilisation intégrée des terres en Colombie. | 155 |
| TA.1 | Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté | 73 | 3.8 | La demande de poissons d'élevage augmentera, en particulier en Asie et en Afrique | 160 |
| TA.2 | Principaux facteurs influant sur le climat depuis la révolution industrielle | 74 | 3.9 | La télédétection est utilisée dans les vignobles du Worcester (province du Cap-Occidental, Afrique du Sud) pour évaluer la productivité de l'eau | 166 |
| TA.3 | La température moyenne mondiale annuelle et la concentration de CO ₂ n'ont cessé d'augmenter au cours de la période 1880-2007 | 74 | 3.10 | En Andhra Pradesh (Inde), les agriculteurs produisent leurs propres données hydrologiques au moyen d'appareils et d'outils très simples, afin de réguler les prélèvements dans les aquifères | 168 |
| TA.4 | Fonte de la calotte glaciaire du Groenland | 75 | 3.11 | Un paysage agricole idéal, intelligent sur le plan climatique, permettrait aux agriculteurs d'utiliser des techniques et des technologies nouvelles pour maximiser les rendements, et donnerait aux gestionnaires des terres la possibilité de protéger les systèmes naturels, les habitats naturels étant intégrés aux paysages productifs. | 168 |

- 3.12 Un paysage futur idéal, intelligent sur le plan climatique, utiliserait des techniques flexibles pour absorber les chocs climatiques par les biais d'infrastructures naturelles ou construites et de mécanismes de marché 169
- 3.13 Les prix mondiaux des céréales devraient augmenter de 50 à 100 % d'ici 2050 171
- 3.14 Une taxe carbone frappant les émissions dues à l'agriculture et au changement d'affectation des terres encouragerait la protection des ressources naturelles. 172
- 4.1 Explication du doublement des émissions : l'amélioration de l'intensité énergétique et de l'intensité de carbone n'a pas suffi à compenser l'accroissement de la demande d'énergie stimulée par la hausse des revenus. 191
- 4.2 Sources d'énergie primaire 1850-2006. De 1850 à 1950, la consommation d'énergie a augmenté de 1,5 % par an, principalement grâce au charbon. De 1950 à 2006, elle a progressé de 2,7 % par an, avant tout grâce au pétrole et au gaz naturel. 192
- 4.3 En dépit du faible niveau de leur consommation d'énergie et de leurs émissions par habitant, les pays en développement seront à l'origine d'une grande partie de l'augmentation future de la consommation totale d'énergie et de la hausse des émissions de CO₂ 192
- 4.4 Émissions de gaz à effet de serre par secteur : monde et pays à revenu élevé, intermédiaire et faible 193
- 4.5 La possession d'automobiles augmente avec les revenus, mais la tarification, les transports publics, l'urbanisme et la densité urbaine peuvent freiner l'utilisation des voitures 194
- 4.6 La direction dans laquelle le monde doit s'orienter : Émissions de CO₂ d'origine énergétique par habitant 195
- 4.7 Seulement la moitié des modèles énergétiques considère qu'il est possible de réduire suffisamment les émissions pour rester proche d'une concentration 450 ppm de CO₂e (2 °C) 196
- 4.8 Estimation du coût des mesures d'atténuation au plan mondial et du prix de carbone pour des concentrations de 450 et 550 ppm de CO₂e (2 °C et 3 °C) en 2030 selon cinq modèles 197
- 4.9 Il est essentiel de prendre des mesures au niveau mondial pour limiter le réchauffement à 2 °C (450 ppm) ou 3 °C (550 ppm). Les pays développés ne peuvent pas, à eux seuls, placer le monde sur une trajectoire de 2 °C ou 3 °C, même s'ils parvenaient à éliminer complètement leurs émissions d'ici à 2050. 203
- 4.10 En matière d'émissions, l'écart entre la trajectoire empruntée aujourd'hui par le monde et celle qu'il devrait suivre est immense, mais un portefeuille de technologies d'énergies propres peut aider l'humanité à respecter l'objectif de 450 ppm de CO₂e (2 °C) 204
- 4.11 L'objectif consiste à faire passer les technologies à faible intensité de carbone du stade du concept non prouvé au déploiement à grande échelle et à un niveau de réduction d'émissions plus élevé 205
- 4.12 Le coût de l'électricité photovoltaïque solaire diminue progressivement grâce à la R-D et sous l'effet d'une demande plus élevée que prévu qui encourage une production à plus grande échelle 221
- TC.1 Ratios importations-exportations des produits à forte intensité énergétique enregistrés pour les pays à revenu élevé et pour les pays à revenu faible et intermédiaire 253
- 6.1 Les coûts d'atténuation annuels augmentent avec la rigueur de l'objectif fixé pour la hausse des températures et la probabilité d'atteindre cet objectif 259
- 6.2 L'écart est important : Estimations des besoins de financement annuels de l'action climatique pour assurer une trajectoire à 2 °C avec les ressources actuelles 263
- 7.1 La puissance éolienne installée cumulée dans le monde a considérablement augmenté au cours des dix dernières années 287
- 7.2 Les budgets nationaux de RD-D dans le domaine l'énergie sont au plus bas et le nucléaire domine 292
- 7.3 Les dépenses annuelles de R-D concernant l'énergie et le changement climatique sont dérisoires comparées aux subventions 293
- 7.4 Le rythme des inventions n'est pas le même pour toutes les technologies à faible intensité de carbone 293
- 7.5 Les stratégies publiques touchent tous les maillons de la chaîne d'innovation 296
- 7.6 La « vallée de la mort » entre la recherche et le marché 301
- 7.7 Les inscriptions dans la filière ingénierie restent faibles dans de nombreux pays en développement 305
- 7.8 Les vélos électriques comptent parmi les moyens de transport les moins chers et les plus propres de Chine 309
- 7.9 Les pays à revenu intermédiaire attirent des investissements des cinq plus grands fabricants d'équipements éoliens mais les lacunes des régimes de protection des droits de propriété intellectuelle entravent les transferts de technologie et les capacités de R-D 311
- 8.1 Les actions directes des consommateurs américains produisent jusqu'à un tiers des émissions totales de CO₂ de leur pays 322
- 8.2 De petits ajustements locaux aux grandes conséquences mondiales : remplacer les VLT par des voitures particulières consommant peu de carburant ne serait-ce qu'aux États-Unis compenserait pratiquement les émissions résultant de l'alimentation en électricité de 1,6 milliard de personnes de plus 323
- 8.3 Le désir des particuliers de lutter contre le changement climatique varie selon les pays et ne se traduit pas toujours par des mesures concrètes 324
- 8.4 Le changement climatique n'est pas encore une priorité 326
- 8.5 Les craintes liées au changement climatique diminuent avec l'augmentation de la richesse 327
- 8.6 Une gouvernance efficace va de pair avec une bonne performance environnementale 333
- 8.7 Le bilan des démocraties est meilleur en termes de résultats que de réalisations 339

Cartes

- 11 Le changement climatique se traduira, en 2050, par une baisse des rendements agricoles dans la plupart des pays, si les pratiques agricoles et les variétés culturales actuelles continuent d'être employées 6
- 1.1 Plus d'un milliard de personnes dépendent de l'eau que leur fournissent des glaciers himalayens en constant recul. 40
- 1.2 Les pays riches ne sont pas épargnés par les anomalies climatiques : la canicule de 2003 a fait plus de 70 000 victimes en Europe 43
- 1.3 Le changement climatique va probablement accroître la pauvreté dans la plupart des régions du Brésil, en particulier dans les plus pauvres. 44
- 1.4 Les tempêtes de neige qui ont frappé la Chine en janvier 2008 ont gravement perturbé les transports, pilier de la croissance économique du pays 47
- 1.5 L'Afrique dispose d'un énorme potentiel hydroélectrique encore inexploité, alors que les ressources hydroélectriques des États-Unis présentent un potentiel plus faible, mais plus exploité. 49
- TA.1 Variations régionales de l'évolution du climat mondial au cours des 30 dernières années 76
- TA.2 Facteurs de basculement potentiels du système climatique : répartition mondiale 81
- 2.1 En danger : Les populations et les mégalopoles se concentrent dans les zones côtières à faible élévation menacées par la hausse du niveau de la mer et les ondes de tempêtes 93
- 2.2 Un défi complexe : gérer la croissance urbaine et les risques d'inondation dans le contexte du changement climatique en Asie du Sud et du Sud-Est 96
- 2.3 Les villes du nord doivent se préparer à un climat méditerranéen – maintenant 98
- 2.4 Le changement climatique accélère le retour de la dengue sur le continent américain 99
- 2.5 Les pays petits et pauvres sont financièrement vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes 107
- 2.6 Les migrants sénégalais s'établissent dans des zones inondables autour de la ville de Dakar 113
- TB.1 Une grande partie des changements prévus dans les écosystèmes se situe dans des régions boréales et des zones désertiques qui ne sont pas considérées comme des zones sensibles en matière de diversité biologique, mais il existe encore d'importantes zones de chevauchement et sources de préoccupation 126
- TB.2 Le mécanisme REDD devrait profiter en priorité aux zones non protégées fortement menacées par la déforestation et abritant d'importants stocks de carbone. 129
- 3.1 Les projections des quantités d'eau disponibles indiquent un changement radical d'ici le milieu du xxi^e siècle dans de nombreuses régions du monde 139
- 3.2 Le monde va connaître à la fois des périodes de sécheresse plus longues et des épisodes de précipitations plus intenses 140
- 3.3 Le changement climatique se traduira, en 2050, par une baisse des rendements agricoles dans la plupart des pays si les pratiques agricoles et les variétés culturales actuelles continuent d'être employées 147
- 3.4 L'agriculture intensive dans le monde développé a contribué à la prolifération des zones mortes 152
- 3.5 Le commerce mondial des céréales repose sur les exportations d'un petit nombre de pays 163
- 3.6 Les pays développés ont davantage de points de collecte de données et de plus longues séries chronologiques de données sur l'eau 165
- 7.1 Les progrès de la cartographie des vents offrent de nouvelles possibilités 288

Tableaux

- 1 Surcoûts d'atténuation et besoins de financement connexes pour maintenir une trajectoire à 2 °C : Quels seront les besoins dans les pays en développement à l'horizon 2030 ? 11
- 2 À long terme, combien cela coûtera-t-il ? Valeur actualisée des coûts d'atténuation à l'horizon 2100 11
- TA.1 Facteurs de basculement potentiels du système climatique : Déclencheurs, horizon temporel et impacts 82
- TB.1 Évaluation de l'évolution récente de la situation générale des principaux services fournis par les écosystèmes 125
- 4.1 Scénario des mesures à prendre pour atteindre l'objectif d'une concentration de 450 ppm de CO₂e et maintenir le réchauffement aux alentours de 2 °C 196
- 4.2 Investissements nécessaires pour limiter le réchauffement à 2 °C (450 ppm de CO₂e) en 2030 (en milliards de dollars constants de 2005) 198
- 4.3 La situation particulière des pays demande l'adoption de méthodes sur mesure 203
- 4.4 Instruments d'intervention adaptés au degré de maturité des technologies 207
- 4.5 Interventions des pouvoirs publics axées sur la maîtrise de l'énergie, les énergies renouvelables et les transports 215
- 6.1 Instruments actuels de financement de l'action climatique 259
- 6.2 Estimations des besoins de financement annuels de l'action climatique dans les pays en développement 260
- 6.3 Crédits carbone susceptibles d'être générés par les projets MDP et recettes correspondantes à l'horizon 2012, par région 262
- 6.4 Nouveaux fonds bilatéraux et multilatéraux consacrés à l'action climatique 264
- 6.5 Incidence d'un prélèvement pour l'adaptation sur les projets relevant du Mécanisme pour un développement propre (2020) 268
- 6.6 Sources de financement possibles de l'atténuation et de l'adaptation 272
- 6.7 Initiatives nationales et multilatérales de lutte contre le déboisement et la dégradation des forêts 275
- 7.1 Accords internationaux à caractère technologique spécifiques au changement climatique 294
- 7.2 Grandes priorités stratégiques nationales en matière d'innovation 304

Avant-propos

Le changement climatique est l'un des défis les plus complexes de notre jeune siècle. Aucun pays n'est à l'abri de ses effets et aucun pays ne peut, seul, faire face aux décisions politiques controversées, aux profondes transformations technologiques et autres enjeux indissociables et lourds de conséquences à l'échelle de la planète.

En même temps que la planète se réchauffe, le régime des précipitations se modifie et des phénomènes extrêmes tels que sécheresses, inondations et incendies de forêts deviennent plus fréquents. Dans des zones côtières densément peuplées et dans des États insulaires, des millions de personnes seront chassées de leurs habitations par la montée des eaux. Les populations pauvres d'Afrique, d'Asie et d'autres parties du monde sont confrontées à la perspective de récoltes désastreuses, d'une baisse de la productivité agricole, et d'une recrudescence de la faim, de la malnutrition et de la maladie.

Il incombe au Groupe de la Banque mondiale, en sa qualité d'institution multilatérale dont la mission est de promouvoir un développement solidaire et durable, de tenter d'expliquer certaines des interconnexions entre de multiples domaines – l'économie du développement, la science, l'énergie, l'écologie, les technologies, la finance, et enfin la gouvernance et des régimes internationaux efficaces. Le Groupe de la Banque mondiale compte 186 États membres. Il est donc, chaque jour, confronté à la nécessité de susciter la coopération entre des États extrêmement divers, le secteur privé et la société civile en vue d'atteindre des objectifs communs. Ce 32^e *Rapport sur le développement dans le monde* est le fruit des efforts déployés pour allier l'expérience du Groupe à des travaux de recherche afin d'augmenter la somme des connaissances sur un *développement à l'épreuve du changement climatique*.

Les pays en développement seront frappés de plein fouet par les effets du changement climatique, alors même qu'ils s'efforcent de vaincre la pauvreté et de promouvoir leur croissance économique. Le changement climatique menace d'accroître encore leur vulnérabilité, de saper les résultats de longues années d'efforts et de gravement compromettre leurs perspectives de développement. Par conséquent, il devient encore plus difficile de pouvoir atteindre et réaliser

les objectifs du Millénaire et d'assurer un avenir sécurisé et viable au-delà de 2015. De nombreux pays en développement craignent, dans le même temps, l'imposition de limites à la nécessaire mise en valeur de leurs ressources énergétiques dont ils ont tant besoin ou de nouvelles règles qui pourraient faire obstacle à la satisfaction de leurs nombreux besoins, notamment en matière d'infrastructures, et d'esprit d'entreprise.

Il faudra faire preuve d'une ingéniosité et d'un esprit de coopération sans précédents pour pouvoir relever le défi considérable et complexe que pose le changement climatique. Il nous est possible de forger un monde « intelligent sur le plan climatique » de notre vivant – mais, comme le fait valoir le *Rapport*, pour réaliser les transformations nécessaires, il nous faut agir maintenant, il nous faut agir ensemble et il nous faut agir différemment.

Il nous faut agir maintenant parce que ce que nous faisons aujourd'hui détermine le climat de demain et les choix qui définiront notre avenir. À l'heure actuelle, nous émettons des gaz à effet de serre qui accroîtront la température de l'atmosphère pendant des décennies, voire des siècles. Nous construisons les centrales électriques, les réservoirs, les logements, les systèmes de transport et les villes qui nous serviront ou que nous habiterons probablement au moins pendant les cinquante prochaines années. Les technologies et les variétés culturales novatrices que nous testons actuellement dans le cadre d'opérations pilotes peuvent déterminer les sources d'énergie et d'alimentation auxquelles nous aurons recours pour satisfaire aux besoins de 3 milliards d'habitants de plus à l'horizon 2050.

Il nous faut agir ensemble, parce que le changement climatique est une crise qui touche le patrimoine mondial. Il sera impossible de résoudre le problème du changement climatique si les pays ne coopèrent pas, dans le monde entier, pour améliorer les rendements énergétiques et utiliser l'énergie de manière plus rationnelle, mettre au point et déployer des technologies propres et développer des « puits » naturels qui absorbent les gaz afin de promouvoir une croissance verte. Nous devons protéger l'humanité et les ressources écologiques. La majeure partie des émissions produites par le passé est imputable aux pays développés,

qui affichent un niveau d'émission par habitant élevé. Ces pays doivent donner l'exemple en réduisant fortement leur empreinte carbone et en encourageant la recherche axée sur des solutions vertes. La plus grande partie des émissions futures à l'échelle mondiale proviendra, en revanche, des pays en développement. Ceux-ci auront besoin de transferts de ressources et de financements adéquats pour pouvoir suivre une trajectoire plus sobre en carbone sans compromettre leurs perspectives de développement.

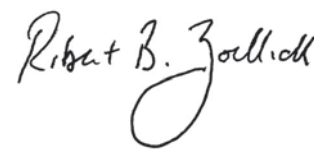
Il nous faut agir différemment car nous ne pouvons pas dresser des plans pour l'avenir sur la base du climat des années passées. Pour répondre aux conditions climatiques de demain, il nous faudra construire des infrastructures qui peuvent résister à ces nouvelles conditions et servir une population plus nombreuse ; utiliser des ressources en terres et en eau limitées pour produire suffisamment d'aliments et aussi de biomasse pour la fabrication de combustibles tout en préservant les écosystèmes ; et reconfigurer les systèmes énergétiques dans le monde entier. Nous devons, pour cela, formuler les mesures d'adaptation sur la base des nouvelles informations disponibles sur l'évolution du profil des températures, des régimes de précipitations et des déplacements des espèces. Face à l'ampleur des changements, il faudra lever d'importants financements supplémentaires à des fins d'adaptation et d'atténuation et aussi intensifier de manière stratégique les travaux de recherche pour déployer à une plus grande échelle les approches prometteuses et explorer de nouvelles idées audacieuses.

Il est absolument essentiel de parvenir, en décembre à Copenhague, à un accord climatique intégrant les besoins de développement dans le cadre des actions climatiques.

Le Groupe de la Banque mondiale a lancé plusieurs initiatives de financement pour aider les pays à faire face au changement climatique, comme indiqué dans le Cadre stratégique pour le développement et le changement climatique, en particulier des fonds et des mécanismes carbone qui continuent de se développer grâce à la forte progression des financements au titre des rendements énergétiques et des nouvelles énergies renouvelables. Nous nous efforçons de déterminer, concrètement, comment les pays en développement peuvent bénéficier du régime de changement climatique et appuyer ce dernier – que ce soit dans le cadre de mécanismes réalistes offrant des incitations pour éviter les déboisements, de modèles de croissance à moindre intensité de carbone ou d'initiatives qui conjuguent adaptation et atténuation. Nous voulons ainsi fournir notre appui au processus de la CCNUCC et aux pays qui mettent au point un cadre incitatif et dissuasif au plan international.

Il faudra faire bien plus. C'est pourquoi le Groupe de la Banque a entrepris de revoir ses stratégies énergétiques et environnementales pour les années à venir, et d'apporter son aide aux pays, afin de renforcer leurs pratiques de gestion des risques et à étendre la portée de leurs filets de protection face aux risques qui ne peuvent pas être totalement éliminés.

Le *Rapport sur le développement dans le monde 2010* plaide en faveur d'une action climatique ; si nous agissons maintenant, si nous agissons ensemble et si nous agissons différemment, nous pourrions réellement instaurer pour l'avenir des conditions climatiques propices à une mondialisation solidaire et durable.



Robert B. Zoellick
Président
Groupe de la Banque mondiale

Remerciements

Ce Rapport a été préparé par une équipe de base dirigée par Rosina Bierbaum et Marianne Fay et composée de Julia Bucknall, Samuel Fankhauser, Ricardo Fuentes-Nieva, Kirk Hamilton, Andreas Kopp, Andrea Liverani, Alexander Lotsch, Ian Noble, Jean-Louis Racine, Mark Rosegrant, Xiaodong Wang, Xueman Wang et Michael Ian Westphal. L'équipe a, par ailleurs, bénéficié des importants travaux réalisés par Arun Agrawal, Philippe Ambrosi, Elliot Diring, Calestous Juma, Jean-Charles Hourcade, Kseniya Lvovsky, Muthukumara Mani, Alan Miller et Michael Toman ainsi que des précieux conseils et des données présentés par Leon Clarke, Jens Dinkel, Jae Edmonds, Per-Anders Enkvist, Brigitte Knopf et Volker Krey. Elle a aussi reçu l'appui de Rachel Block, Doina Cebotari, Nicola Cenacchi, Sandy Chang, Nate Engle, Hilary Gopnik et Hrishikesh Patel. Lidvard Gronnevet et Jon Strand ont aussi contribué à la préparation du rapport.

Le rôle de principal directeur de publication est incombé à Bruce Ross-Larson. L'Unité de cartographie de la Banque mondiale a réalisé les cartes sous la direction de Jeff Lecksell. Le Bureau des publications a assuré les services de rédaction, de conception, de composition et d'impression sous la supervision de Mary Fisk et d'Andrés Meneses. Stephen McGroarty a assumé les fonctions de responsable des acquisitions.

Le *Rapport sur le développement dans le monde 2010* a été parrainé par la vice-présidence Économie du développement (DEC) et par le Réseau du développement durable (SDN). Les travaux ont été menés dans le cadre des directives générales formulées par Justin Yifu Lin, pour DEC, et Katherine Sierra pour SDN. L'équipe remercie également Warren Evans et Alan H. Gelb de leurs précieux conseils. Un panel de conseillers composé de Neil Adger, Zhou Dadi, Rashid Hassan, Geoffrey Heal, John Holdren (jusqu'en décembre 2008), Jean-Charles Hourcade, Saleemul Huq, Calestous Juma, Nebojša Nakićenović, Carlos Nobre, John Schellnhuber, Robert Watson, et John Weyant a fait bénéficier l'équipe de nombreux et excellents conseils à toutes les étapes de la préparation du Rapport.

Le président de la Banque mondiale, Robert B. Zoellick, a présenté ses commentaires et directives.

De nombreuses autres personnes, des services de la Banque mondiale et de l'extérieur, ont formulé des commentaires et des observations. Le Groupe de gestion des données sur le développement a contribué à la préparation de l'Annexe et a été chargé des Grands indicateurs du développement dans le monde.

L'équipe a procédé à de larges consultations dont elle a tiré grand profit. Des réunions et des ateliers régionaux ont été organisés localement ou par vidéoconférence (grâce au Réseau mondial d'échange du savoir au service du développement de la Banque mondiale) en Afrique du Sud, en Allemagne, en Argentine, au Bangladesh, en Belgique, au Bénin, au Botswana, au Burkina Faso, en Chine, au Costa Rica, en Côte d'Ivoire, au Danemark, aux Émirats arabes unis, en Éthiopie, en Finlande, en France, au Ghana, en Inde, en Indonésie, au Kenya, au Koweït, au Mexique, au Mozambique, au Nicaragua, en Norvège, en Ouganda, aux Pays-Bas, au Pérou, aux Philippines, en Pologne, en République dominicaine, au Royaume-Uni, au Sénégal, en Suède, en Tanzanie, en Thaïlande, au Togo et en Tunisie. L'équipe tient à remercier les participants à ces ateliers et à ces vidéoconférences qui ont réuni des universitaires, des chercheurs, de hauts fonctionnaires, des agents d'organisations non gouvernementales et d'organisations du secteur privé ainsi que des membres de la société civile.

Enfin, l'équipe remercie de leur généreux appui l'État norvégien, le ministère britannique du Développement international (DFID), l'État danois, l'État allemand par l'intermédiaire de Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, l'État suédois par l'intermédiaire de Biodiversity Centre/Swedish International Biodiversity Programme (SwedBio), le Fonds fiduciaire pour le développement écologiquement et socialement durable (TFESSD), le Fonds fiduciaire programmatique multidonneurs, et le Programme du savoir au service du développement.

Rebecca Sugui, qui collabore depuis 17 ans avec les équipes du Rapport sur le développement dans le monde, a assumé la fonction d'assistante exécutive pour l'équipe, Sonia Joseph et Jason Victor d'assistants de programme et Bertha Medina d'assistante de l'équipe. Evangelina Santo Domingo a assumé la fonction d'assistante de gestion des ressources.

Sigles, abréviations et notes sur les données

Abréviations

| | | | |
|-------------------|---|------------------|--|
| ADPIC | Aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce | kWh | Kilowatt-heure |
| AIE | Agence internationale de l'énergie | MDP | Mécanisme pour un développement propre |
| ARPP | Rapport annuel sur la performance du portefeuille | MOC | Mise en œuvre conjointe |
| Bt | <i>Bacillus thuringiensis</i> | N ₂ O | Oxyde d'azote |
| CCNUCC | Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques | O ₃ | Ozone |
| CH ₄ | Méthane | OCDE | Organisation de coopération et de développement économiques |
| CIPAV | Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria | OGM | Organisme génétiquement modifié |
| CO ₂ | Dioxyde de carbone | OMC | Organisation mondiale du commerce |
| CO ₂ e | Équivalent de dioxyde de carbone | OMM | Organisation météorologique mondiale |
| CPIA | Évaluation de la politique et des institutions nationales | ONG | Organisation non gouvernementale |
| DPI | Droit de propriété intellectuelle | ONU | Organisation des Nations Unies |
| EICASTD | Évaluation internationale des connaissances agricoles, de la science et de la technologie pour le développement | PANA | Programme national d'action pour l'adaptation au changement climatique |
| ENSO | El Niño-oscillation australe | PIB | Produit intérieur brut |
| FEM | Fonds pour l'environnement mondial | PPA | Parité de pouvoir d'achat |
| FIP | Programme d'investissement forestier | ppb | Parties par milliard |
| FCPF | Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation | ppm | Parties par million |
| FTP | Fonds pour les technologies propres | PRG | Potentiel de réchauffement global |
| GCRAI | Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale | PSC | Piégeage et stockage de carbone |
| GEO | Groupe sur l'observation de la Terre | R-D | Recherche-développement |
| GEOSS | Système des systèmes mondiaux d'observation de la Terre | R-DD | Recherche-développement et déploiement |
| GES | Gaz à effet de serre | R-DDD | Recherche-développement, démonstration et déploiement |
| GFDRR | Mécanisme mondial de prévention des catastrophes et de reconstruction | REDD | Réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts |
| GIEC | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat | RGGI | Initiative régionale concernant les gaz à effet de serre |
| GPL | Gaz de pétrole liquéfié | SD-PAM | Politiques et mesures de développement durable |
| Gt | Gigatonne | SNV | Système de suivi, de notification et de vérification |
| IDA | Association internationale de développement | SO ₂ | Dioxyde de soufre |
| IED | Investissement étranger direct | SSE | Société de services énergétiques |
| IFC | Société financière internationale | tep | Tonne d'équivalent pétrole |
| IIASA | Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués | Tt | Téragonne |
| | | UE | Union européenne |
| | | UQA | Unités de quantité attribuées |
| | | URCE | Unités de réduction certifiées des émissions |
| | | VLT | Véhicule loisir travail |
| | | WGI | Indicateurs de la gouvernance dans le monde |

Notes sur les données

Les pays figurant dans les groupes régionaux et de revenu auxquels se réfère le Rapport sont énumérés dans le tableau intitulé Classification des économies, à la fin des Grands indicateurs du développement dans le monde. Les groupes de revenu ont été établis sur la base du produit national brut (PNB) par habitant ; l'introduction aux Grands indicateurs du développement dans le monde indique les valeurs qui ont été retenues comme seuils. Les figures, les cartes et les tableaux (y compris dans la section des Grands indicateurs) dans lesquels les pays sont classés par groupe de revenu sont basés sur la classification des revenus établie par la Banque mondiale pour 2009. Les données figurant dans les Grands indicateurs de développement dans le monde sont basées sur la classification de 2010. Les moyennes par groupe indiquées dans les figures

et les tableaux sont, sauf indication contraire, des moyennes non pondérées des pays qui y appartiennent.

L'utilisation du terme *pays* pour désigner des économies n'implique aucune prise de position de la Banque quant au statut juridique ou autre du territoire en question. L'expression *pays en développement* désigne les économies à revenu faible ou intermédiaire et peut, par commodité, inclure les pays anciennement à planification centrale dits en transition. Les expressions *pays industriels* et *pays développés* peuvent être utilisées par commodité pour désigner les pays à revenu élevé.

Le terme dollar désigne, sauf indication contraire, le dollar courant des États-Unis. Le terme *milliard* signifie 1 000 millions, le terme *milliers de milliards* signifie 1 000 milliards.

Les idées forces du Rapport sur le développement dans le monde 2010

La réduction de la pauvreté et le développement durable demeurent des priorités fondamentales à l'échelle de la planète. Un quart de la population des pays en développement a moins de 1,25 dollar par jour pour vivre. Un milliard d'être humains n'ont pas accès à l'eau potable ; 1,6 milliard n'ont pas l'électricité et 3 milliards ne bénéficient pas d'un assainissement adéquat. Un quart des enfants, à l'échelle des pays en développement, souffrent de malnutrition. Répondre à ces besoins doit rester au cœur des priorités des pays en développement et des sources d'aide au développement – sachant que le développement deviendra plus difficile du fait du changement climatique.

Pourtant, il faut prendre des mesures sans plus tarder pour face au changement climatique. Celui-ci menace tous les pays, mais les pays en développement sont les plus vulnérables. Selon les estimations, ceux-ci assumeront 75 à 80 % du coût des dommages causés par le changement climatique. Un réchauffement de seulement 2 °C par rapport aux températures de la période préindustrielle – soit le réchauffement minimum que le monde peut compter enregistrer – pourrait provoquer des réductions permanentes du PIB de 4 à 5 % en Afrique et en Asie du Sud. La plupart des pays en développement n'ont pas les capacités financières et techniques nécessaires pour gérer un risque climatique de plus en plus grave. Leurs revenus et leur bien-être dépendent également plus directement de ressources naturelles tributaires des conditions météorologiques. Et ils se trouvent en majorité dans des régions tropicales et subtropicales déjà exposées à un climat extrêmement changeant.

Il est peu probable que la croissance économique, à elle seule, puisse être suffisamment rapide ou équitable pour contrer les menaces du changement climatique, en particulier si elle reste gourmande en carbone et accélère le réchauffement de la planète. La politique climatique ne peut donc pas être présentée comme un choix entre la croissance et le changement climatique. En fait, les politiques intelligentes sur le plan climatique sont celles qui renforcent le développement, réduisent la vulnérabilité et financent le passage à des trajectoires de croissance sobres en carbone.

Un monde intelligent sur le plan climatique est à portée de main à condition que nous agissions maintenant, ensemble et différemment :

- Il est essentiel d'**agir maintenant**, sinon des opportunités seront perdues et les coûts augmenteront parce que le monde se sera engagé dans des processus à très forte intensité de carbone et que les températures suivront des trajectoires à la hausse, pour l'essentiel irréversibles. Le changement climatique compromet déjà les efforts déployés pour améliorer les conditions de vie et atteindre les objectifs de développement pour le Millénaire. Pour pouvoir maintenir le réchauffement aux alentours de 2 °C au dessus des températures préindustrielles – le mieux que nous puissions probablement faire – il faudra mener une véritable révolution énergétique en déployant immédiatement les technologies à haut rendement énergétique et sobres en carbone qui existent déjà et en consacrant des investissements considérables à la prochaine génération de technologies sans lesquelles une croissance sobre en carbone ne pourra se concrétiser. Il faut aussi prendre des mesures immédiates pour faire face au changement climatique et réduire le coût qu'il impose aujourd'hui aux êtres humains, aux infrastructures et aux écosystèmes, et pour se préparer à des changements encore plus importants.
- Il est essentiel d'**agir ensemble** pour contenir les coûts et mener des efforts efficaces d'adaptation et d'atténuation. Il faudra, avant tout, que les pays à revenu élevé prennent des mesures drastiques pour réduire leurs propres émissions. Une telle réduction libérerait de « l'espace écologique » au profit des pays en développement mais, surtout, elle stimulerait l'innovation et la demande de nouvelles technologies qui pourraient donc être déployées plus rapidement et à moindre coût sur une grande échelle. Elle permettrait également de créer un marché du carbone suffisamment vaste et stable. Il est essentiel que ces deux effets se produisent pour que les pays en développement puissent se placer sur une trajectoire plus sobre en carbone tout en obtenant rapidement accès aux services énergétiques nécessaires à leur développement ; mais il faudra de surcroît que ces effets s'accompagnent d'un appui financier. Il sera aussi nécessaire d'agir ensemble pour promouvoir le développement dans un environnement plus rude – la capacité d'adaptation des communautés ne sera pas à la mesure de l'intensification

des risques climatiques. Et il sera essentiel de réunir un appui national et international pour protéger les groupes de populations les plus vulnérables par le biais de programmes d'aide sociale, pour mettre au point des mécanismes internationaux de partage des risques, et pour promouvoir l'échange de savoir, de technologies et d'informations.

- Il est essentiel d'*agir différemment* pour assurer un avenir durable dans un monde en mutation. Au cours des prochaines décennies, il nous appartient de transformer les systèmes énergétiques de la planète pour réduire de 50 à 80 % le volume total des émissions. Il faudra construire des infrastructures capables de résister à des conditions climatiques plus extrêmes. Et il faudra accroître la productivité agricole et rationaliser la consommation d'eau pour nourrir 3 milliards de personnes de plus sans compromettre davantage des écosystèmes déjà perturbés. Seule une gestion intégrée à grande échelle et une planification souple inscrites dans la durée permettront de faire face aux pressions croissantes exercées sur les ressources naturelles aux fins de la production de denrées alimentaires, de biocombustibles, d'hydroélectricité et de services d'écosystème tout en préservant la biodiversité et en maintenant les stocks de carbone dans le sol et dans les forêts. Pour être robustes, les stratégies économiques et sociales devront prendre en compte les incertitudes croissantes auxquelles le monde sera confronté et renforcer l'adaptation à différentes évolutions climatiques – et non pas uniquement faire face « de manière optimale » aux conditions climatiques d'époques révolues. Pour être efficaces, les politiques devront donner lieu à des évaluations conjointes des actions de développement, d'adaptation et d'atténuation qui, toutes, font appel aux mêmes pools de ressources (humaines, financières et naturelles).

Il importe de conclure un accord climatique mondial équitable et efficace. Un tel accord aurait pour effet de prendre en compte la diversité des besoins des pays en développement et des obstacles qu'ils rencontrent, de leur procurer l'aide financière et technologique requise pour relever les défis de plus en plus lourds du développement, de garantir que ces pays ne sont pas condamnés à ne bénéficier que d'une part réduite du patrimoine mondial, et d'établir des mécanismes dissociant le lieu des efforts d'atténuation des sources qui les financent. L'augmentation des émissions sera essentiellement le fait des nations en développement, dont l'empreinte carbone actuelle est d'une faiblesse disproportionnée et qui doivent afficher une rapide croissance économique pour pouvoir faire reculer la pauvreté. Les pays à revenu élevé doivent fournir une aide financière et technique à la fois pour appuyer l'adaptation et pour promouvoir une croissance sobre en carbone dans

les pays en développement. Les financements consacrés à l'adaptation et à l'atténuation représentent actuellement moins de 5 % des montants annuels qui pourraient être nécessaires à l'horizon 2030, mais il sera possible de combler ce déficit en mettant en place des mécanismes de financement novateurs.

Le succès des efforts entrepris est tributaire de la modification des comportements et de l'évolution de l'opinion publique. Les particuliers, en leur qualité de citoyens et de consommateurs, détermineront l'avenir de la planète. Bien que de plus en plus de personnes soient informées du changement climatique et estiment que des mesures sont nécessaires, trop peu d'entre elles jugent cette question prioritaire, et beaucoup trop d'entre elles s'abstiennent de passer à l'action quand elles le pourraient. Le plus grand défi consiste donc à modifier les comportements et les institutions, en particulier dans les pays à revenu élevé. Il faudra réorienter la politique publique – au niveau local, régional, national et international – pour faciliter la poursuite d'une action privée et civique et en accroître l'attrait.

Chapitre 1 : La réalisation des objectifs de développement est compromise par le changement climatique, dont l'impact se fait plus lourdement sentir sur les pays pauvres et les populations démunies ; il ne sera toutefois possible de maîtriser le changement climatique que si les pays riches comme les pays pauvres adoptent des modes de fonctionnement à moindre intensité de gaz à effet de serre. Il nous faut agir maintenant : les décisions que prennent les pays au plan du développement détermineront le degré d'intensité de carbone des activités mondiales et l'ampleur du réchauffement futur de la planète. Si rien n'est fait, les températures pourraient augmenter de plus de 5 °C avant la fin du siècle. Et il nous faut agir ensemble : retarder la mise en œuvre de mesures d'atténuation dans les pays en développement pourrait doubler le coût des mesures nécessaires à ce titre ; c'est ce qui risque de se produire si d'importants financements ne sont pas mobilisés. En revanche, si nous agissons maintenant et ensemble, le surcoût associé au maintien du réchauffement aux environs de 2 °C sera faible et justifié au regard des dangers que poserait un changement climatique de plus grande ampleur.

Chapitre 2 : Le changement climatique se poursuivra inévitablement. Il imposera à l'humanité des contraintes physiques et économiques, en particulier dans les pays pauvres. Pour s'adapter, il faudra prendre des décisions robustes – qui impliquent une planification à plus long terme sur la base d'une large gamme de scénarios climatiques et socioéconomiques. Les pays peuvent réduire les risques financiers et matériels associés à la variabilité du climat et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Ils peuvent également protéger leurs citoyens les plus vulnérables.

Certaines pratiques devront être poursuivies sur une plus grande échelle – comme les assurances et la protection sociale – d'autres devront être modifiées – comme la planification des villes et des infrastructures. Ces mesures d'adaptation présentent des avantages mêmes en l'absence de tout changement climatique. D'autres initiatives, prometteuses, sont proposées, mais leur poursuite à l'échelle requise exigera des capitaux, des efforts, de l'ingéniosité et des informations.

Chapitre 3 : Le changement climatique accroîtra encore la difficulté que présente la production de denrées alimentaires en quantités suffisantes pour nourrir une population mondiale en expansion ; il modifiera aussi le volume et la qualité des ressources en eau ainsi que le moment où elles sont disponibles. Pour éviter d'empiéter sur des écosystèmes déjà perturbés, les sociétés humaines devront pratiquement doubler le taux de croissance de la productivité agricole tout en réduisant dans toute la mesure du possible les atteintes à l'environnement associées à un tel doublement. Il faudra, pour cela, consacrer des efforts résolus au déploiement de pratiques connues mais peu utilisées, identifier des variétés culturales capables de résister à des chocs climatiques, diversifier les moyens de subsistance des populations rurales, améliorer la gestion des forêts et des pêcheries, et investir dans des systèmes d'information. Les pays devront coopérer pour gérer des ressources en eau partagées et améliorer le commerce des produits alimentaires. Il sera important de mettre en place des politiques de base performantes, mais aussi de s'appuyer sur de nouvelles technologies et pratiques. Les incitations financières pourront jouer un rôle utile. Certains pays réaffectent au financement d'actions environnementales des fonds jusque là consacrés aux subventions agricoles ; par ailleurs, l'attribution à une date future de crédits au titre du carbone stocké dans les forêts et dans le sol pourrait promouvoir des réductions d'émissions et la réalisation des objectifs de préservation.

Chapitre 4 : Pour apporter une réponse au problème du changement climatique, il faudra que tous les pays prennent des mesures immédiates et que des transformations fondamentales soient apportées aux systèmes énergétiques – pour permettre un accroissement important des rendements énergétiques, pour accorder une place considérablement accrue aux énergies renouvelables et, peut-être même à l'énergie nucléaire, et encourager l'utilisation généralisée des technologies de pointe pour piéger et stocker le carbone émis dans l'atmosphère. Les pays développés devront prendre les devants et réduire leurs propres émissions à hauteur de 80 % à l'horizon 2050, commercialiser de nouvelles technologies et contribuer au financement des mesures nécessaires pour replacer les pays en développement sur des trajectoires fondées sur des énergies propres. Il est également dans l'intérêt des pays en développement d'agir sans tarder pour éviter que leurs économies ne se retrouvent prisonnières

d'infrastructures à forte intensité de carbone. Un grand nombre de changements, tels que l'élimination de signaux par les prix sources de distorsions et l'accroissement des rendements énergétiques, présentent des avantages aussi bien pour le développement que pour l'environnement.

Chapitre 5 : Un problème mondial de l'ampleur de celui que pose le changement climatique nécessite une action coordonnée au plan international. La poursuite de cette action dépend toutefois des mesures prises au niveau national. Pour être efficace, un régime climatique international doit prendre en compte les préoccupations de développement, et s'affranchir du présupposé d'une dichotomie environnement-équité. On pourrait retenir un cadre à plusieurs vitesses définissant des politiques et des objectifs différents pour les pays développés et pour les pays en développement ; il faudrait, dans ce cas, formuler un processus pour définir et mesurer les résultats positifs. Le régime du climat international devra également appuyer l'intégration de l'adaptation dans le développement.

Chapitre 6 : Le financement de l'action climatique est un moyen de concilier l'équité, l'efficacité et la rationalité dans le cadre des actions menées pour réduire les émissions et s'adapter au changement climatique. Les niveaux de financement actuels sont toutefois loin de pouvoir suffire face aux estimations des besoins : les flux globaux actuels de ressources destinées aux pays en développement sont de 10 milliards de dollars par an alors que les montants indiqués par les projections des besoins à l'horizon 2030 sont de l'ordre de 75 milliards de dollars pour l'adaptation et de 400 milliards de dollars pour l'atténuation. Pour combler cet écart, il faudra procéder à une réforme du marché du carbone actuel et trouver de nouvelles sources de financement telles que des taxes sur le carbone. La tarification du carbone transformera le financement de l'action climatique au niveau national, mais il restera néanmoins nécessaire de procéder à des transferts financiers internationaux et à réaliser des transactions sur droits d'émissions pour éviter que la croissance et la lutte contre la pauvreté dans les pays en développement ne soient compromises dans un monde où des limites sont imposées aux émissions de carbone.

Chapitre 7 : Pour faire face au changement climatique et atteindre les objectifs de développement, il faudra considérablement intensifier les efforts internationaux déployés pour diffuser les technologies existantes et pour développer et déployer de nouvelles technologies. Les investissements publics et privés – qui se chiffrent actuellement à des dizaines de milliards de dollars par an – devront considérablement augmenter pour atteindre plusieurs centaines de milliards de dollars par an. Des politiques de « stimulation par la technologie » fondées sur un volume croissant d'investissements publics dans la R-D ne suffiront pas. Elles devront s'accompagner de politiques

« d'entraînement par le marché » offrant au secteur public et au secteur privé des incitations à faire preuve d'esprit d'entreprise, à collaborer et à rechercher des solutions novatrices hors des sentiers battus. Pour diffuser des technologies intelligentes sur le plan climatique, il ne sera pas possible de se contenter d'expédier des matériels prêts à l'emploi aux pays en développement ; il faudra constituer des capacités d'absorption et renforcer les moyens dont disposent les secteurs public et privé pour identifier, adopter, adapter, améliorer et employer les technologies les plus appropriées.

Chapitre 8 : Pour obtenir des résultats dans le cadre des efforts déployés face au défi climatique, il faudra faire plus que mobiliser des financements et des technologies

au niveau international ; il faudra aussi s'attaquer aux obstacles psychologiques, institutionnels et politiques à l'action climatique. Ces obstacles découlent de la manière dont le public perçoit et comprend le problème climatique, la manière dont les administrations fonctionnent et des intérêts qui définissent l'action publique. Pour réorienter l'action publique, il sera nécessaire de modifier les incitations politiques, voire même les responsabilités institutionnelles. Il faudra également déployer un effort résolu d'explication des politiques climatiques, et s'appuyer sur les normes sociales et les comportements pour que chacun d'entre nous passe du stade des préoccupations à celui de la compréhension et du stade de la compréhension à celui de l'action – en commençant à notre propre niveau.



Abrégé

Pour un climat favorable au développement

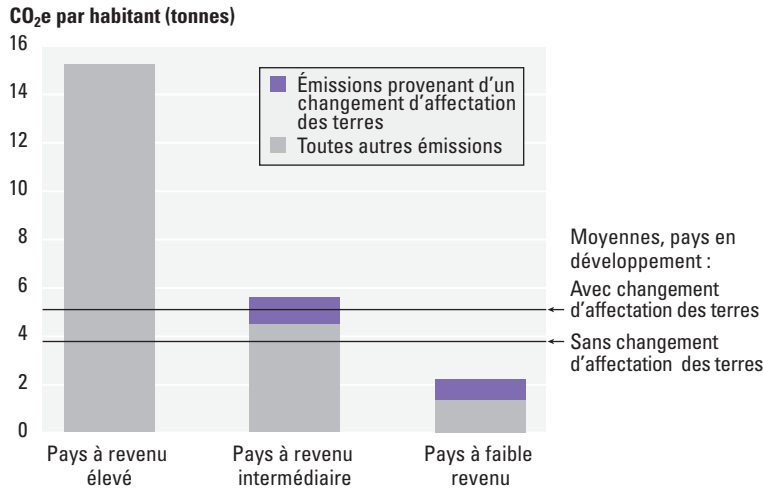
Il y a 30 ans, la moitié de la population mondiale vivait en situation d'extrême pauvreté¹ ; aujourd'hui, cette proportion est d'un quart. Le pourcentage d'enfants qui souffrent de malnutrition ou risquent de décéder prématurément est maintenant beaucoup plus faible. L'accès aux infrastructures modernes s'est aussi considérablement élargi. Un facteur déterminant est à l'origine de ces avancées : une croissance économique rapide engendrée par l'innovation technique et les réformes institutionnelles, en particulier dans les pays à revenu intermédiaire où le revenu par habitant a doublé. Pourtant, les besoins restent énormes : le nombre de personnes souffrant de la faim a, pour la première fois, dépassé le milliard cette année². Face à la misère et à la faim qui font encore tant de victimes aujourd'hui, la croissance et la lutte contre la pauvreté demeurent au cœur des priorités des pays en développement.

Le changement climatique ne fait qu'ajouter à la complexité du problème. Les impacts de la variation du climat se font déjà sentir, avec l'augmentation du nombre de sécheresses, d'inondations, de tempêtes violentes et de périodes de canicule, qui grèvent les budgets des individus ainsi que des entreprises et des États, et absorbent une part importante des ressources qui pourraient être consacrées au développement. En outre, s'il se poursuit au même rythme, le changement climatique va ériger des obstacles grandissants au développement. D'ici à la fin du siècle, les températures pourraient augmenter de 5 °C, voire

plus, par rapport à l'ère préindustrielle. Le monde s'en trouvera considérablement changé : les événements météorologiques extrêmes seront plus fréquents, la plupart des écosystèmes seront perturbés et transformés, de nombreuses espèces seront condamnées à disparaître et des nations insulaires entières seront menacées d'inondation. Même si nous mettons tout en œuvre pour enrayer le phénomène, nous pourrions au mieux stabiliser à 2 °C la hausse des températures par rapport aux températures de la période préindustrielle. Un tel réchauffement exigera des mesures d'adaptation de grande ampleur.

Les pays à revenu élevé peuvent et doivent réduire leur empreinte carbone. Ils ne peuvent pas continuer à occuper injustement et de manière insoutenable une partie de l'atmosphère, patrimoine commun de l'humanité. Dans le même temps, les pays en développement, dont les émissions moyennes par habitant représentent un tiers de celles des pays à revenu élevé (figure 1), ont besoin de considérablement développer leurs systèmes urbains, énergétiques et de transport ainsi que leur production agricole. S'il fait appel à des technologies traditionnelles et des modes de production à forte intensité de carbone, ce processus d'expansion, pourtant si nécessaire, accroîtra encore les émissions de gaz à effet de serre, ce qui accentuera le changement climatique. La question qui se pose n'est donc pas seulement de savoir comment accroître la résistance du développement au changement

Figure 1 Des empreintes inégales : les émissions par habitant des pays à faible revenu, à revenu intermédiaire et à revenu élevé, 2005



Sources : Banque mondiale 2008c ; WRI 2008 avec l'ajout des émissions dues au changement d'affectation des terres tirées de Houghton 2009.

Note : Les gaz à effet de serre émis sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et des gaz qui peuvent contribuer dans une large mesure au réchauffement de la planète (gaz F). Les émissions de tous ces gaz sont exprimées en équivalent CO₂ (CO₂e), c'est-à-dire la quantité de CO₂ qui provoquerait le même réchauffement. En 2005, les émissions dues à un changement d'affectation des terres dans les pays à revenu élevé étaient négligeables.

climatique, mais plutôt comment promouvoir la croissance et la prospérité sans provoquer de modifications climatiques « dangereuses »³.

La politique du changement climatique n'est pas une simple affaire de choix entre un monde à forte croissance et à forte intensité de carbone et un monde à faible croissance et à faible intensité de carbone. En d'autres termes, il ne s'agit pas de choisir entre croissance et préservation de la planète. De nombreux facteurs d'inefficacité sont à l'origine de la forte intensité de carbone⁴ du monde moderne. Pourtant, certaines technologies connues, alliées à des pratiques optimales, pourraient réduire la consommation énergétique des industries et des unités de production électrique de 20 à 30 % et amoindrir leur empreinte carbone sans sacrifier la croissance⁵. Nombre des mesures d'atténuation, c'est-à-dire des changements pouvant être apportés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, présentent par ailleurs des avantages considérables pour la santé publique, la sécurité énergétique et la préservation de l'environnement, tout en permettant de réaliser des économies financières. En Afrique, par exemple, les mesures d'atténuation des effets du changement climatique qui pourraient être prises sont associées à une gestion plus durable des sols et des forêts, à l'utilisation de sources d'énergies moins polluantes (comme la géothermie ou l'hydroélectricité) et à la mise en place de systèmes de transport urbain durables. Il est donc probable que les mesures d'atténuation, sur le continent, seront compatibles avec la poursuite du processus de développement⁶. C'est aussi le cas en Amérique latine⁷.

L'accroissement des richesses et de la prospérité n'entraîne pas non plus systématiquement une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, même s'il en a été ainsi jusqu'à présent. C'est le cas en revanche de certains modes de consommation et de production : les émissions par habi-

tant des pays à revenu élevé, non compris les pays producteurs d'hydrocarbures, vont du simple au quadruple et sont comprises entre 7 tonnes équivalent CO₂ (CO₂e)⁸ par habitant en Suisse et 27 en Australie et au Luxembourg⁹.

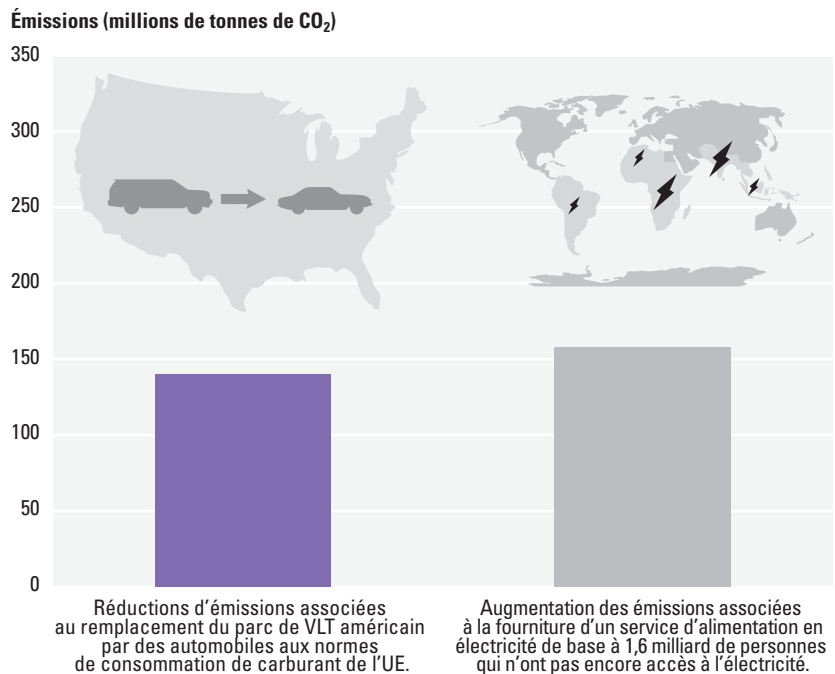
On peut difficilement prétendre que la dépendance à l'égard des combustibles fossiles est inévitable, compte tenu du peu d'efforts déployés à ce jour pour trouver d'autres solutions. Alors que les subventions mondiales dont bénéficient les produits pétroliers s'élèvent chaque année à environ 150 milliards de dollars, les dépenses publiques consacrées à la recherche, au développement et au déploiement (RD-D) dans le domaine des énergies stagnent depuis des décennies aux alentours de 10 milliards de dollars par an, si l'on fait abstraction de l'augmentation brève et soudaine survenue au lendemain de la crise pétrolière (chapitre 7). Cette somme représente 4 % des dépenses publiques mondiales de RD-D. De même, les investissements privés en faveur de la RD-D dans le domaine énergétique, qui sont compris entre 40 milliards et 60 milliards de dollars par an, représentent 0,5 % des revenus des sociétés privées, et une fraction des investissements que des industries innovantes comme les télécommunications (8 %) ou les sociétés pharmaceutiques (15 %) consacrent à la RD-D¹⁰.

Pour que puisse s'amorcer la transition vers un monde sobre en carbone grâce à l'innovation technologique et à la mise en œuvre de réformes institutionnelles complémentaires, les pays à revenu élevé doivent prendre sans plus tarder des mesures résolues pour réduire des empreintes carbonées insoutenables à terme. Ils libéreraient ainsi de l'espace dans l'atmosphère, qui appartient à toute l'humanité (figure 2). Fait plus important encore, un engagement crédible de la part des pays à revenu élevé en faveur d'une réduction drastique de leurs émissions contribuerait surtout

Source : Calculs de l'équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base des chiffres de BTS 2008.

Note : Les estimations sont basées sur les hypothèses suivantes : les États-Unis comptent 40 millions de VLT (véhicules loisir travail) qui couvrent au total 480 milliards de miles sur la base d'une distance parcourue moyenne de 12 000 par véhicule et par an. Si l'on considère que la consommation de carburant moyenne d'un VLT est de 18 miles au gallon, le parc de VLT consomme 27 milliards de gallons d'essence par an en émettant 2,421 grammes de carbone par gallon. Le remplacement des VLT par des voitures économiques en carburant qui respectent la norme moyenne de consommation de carburant des nouvelles voitures particulières vendues dans l'Union européenne (45 miles au gallon ; voir ICCT 2007) se traduit par une réduction des émissions de 142 millions de tonnes de CO₂ (39 millions de tonnes de carbone) par an. La consommation d'électricité des ménages pauvres des pays en développement est, selon les estimations, de 170 kilowattheures par personne et par an et, si l'on pose que l'électricité est générée avec une intensité (moyenne mondiale) de 160 grammes de carbone au kilowattheure, on obtient l'équivalent de 160 millions de tonnes de CO₂ (44 millions de tonnes de carbone). La taille du symbole de l'électricité qui apparaît sur la carte du monde indique le nombre de personnes qui n'ont pas l'électricité.

Figure 2 Une question de rééquilibrage : remplacer les VLT par des voitures particulières consommant peu de carburant ne serait-ce qu'aux États-Unis compenserait pratiquement les émissions résultant de l'alimentation en électricité de 1,6 milliards de personnes de plus



à stimuler la RD-D et la mise au point de technologies et de processus innovants nécessaires dans les domaines de l'énergie, des transports, de l'industrie et de l'agriculture. Si elles font l'objet d'une demande importante et prévisible, les technologies de substitution seront moins coûteuses et donc plus compétitives au regard des combustibles fossiles. Ce n'est que lorsque l'on disposera des technologies innovantes à des prix compétitifs que l'on pourra freiner le changement climatique sans sacrifier la croissance.

Les pays en développement peuvent, eux aussi, se replacer sur des trajectoires à plus faible intensité de carbone sans pour autant compromettre leur développement. Certes, la situation varie d'un pays à l'autre, et tout dépendra de l'ampleur de l'aide financière et technique que les pays à revenu élevé leur apporteront. Cette aide serait équitable – et conforme à l'esprit de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 1992 (CCNUCC) – puisque les pays à revenu élevé, qui comptent un sixième de la population mondiale, sont responsables de près des deux tiers des émissions mondiales de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (figure 3). Elle serait de surcroît rationnelle : les économies permises par une contribution au financement de mesures d'atténuation précoces dans les pays en développement – dans le cadre, par exemple, de projets de construction d'infrastructures et de logements au cours des prochaines décennies – seraient d'une telle ampleur qu'elles présenteraient des avantages patents pour tous les pays¹¹. Cela étant, l'élaboration, et a fortiori l'exécu-

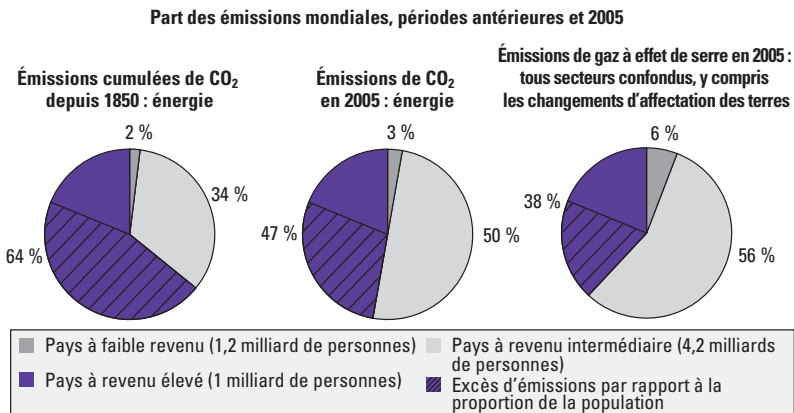
tion d'un accord international faisant intervenir le transfert de ressources substantielles, stables et prévisibles sont loin d'être des tâches aisées.

Les pays en développement, en particulier les plus pauvres et les plus exposés, auront aussi besoin d'aide pour s'adapter au changement climatique, d'autant qu'ils sont d'ores et déjà les plus durement touchés par les phénomènes météorologiques extrêmes (chapitre 2). Un réchauffement supplémentaire, même modéré, impliquera de profondes transformations dans la manière de concevoir et de mettre en œuvre les politiques de développement, des ajustements majeurs des modes de vie et des moyens de subsistance des populations ainsi que leur adaptation aux dangers auxquels elles doivent faire face et aux possibilités qui s'offrent à elle.

La crise financière actuelle ne doit pas être invoquée pour justifier la relégation au second plan des questions climatiques. En moyenne, une crise financière dure moins de deux ans et entraîne une contraction du produit intérieur brut (PIB) de 3 % compensée par la suite par une croissance d'au moins 20 % répartie sur une période de relance et de prospérité de huit ans¹². En d'autres termes, même si elles ont des effets extrêmement négatifs, les crises financières ne durent pas. Il en va tout autrement de la menace croissante que fait peser le changement climatique. Pourquoi ?

Parce que le temps ne joue pas en notre faveur. Les impacts des gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère se feront sentir pendant des décennies, voire des milliers d'années¹³, si bien qu'il sera très difficile de ramener à un niveau

Figure 3 Les pays à revenu élevé ont, de tous temps, contribué de manière disproportionnée aux émissions mondiales. C'est encore le cas aujourd'hui



Sources : DOE 2009 ; Banque mondiale 2008c ; WRI 2008 avec addition des émissions dues au changement d'affectation des terres tirées de Houghton 2009.

Note : Les données couvrent plus de 200 pays pour les années les plus récentes. Des données ne sont pas disponibles pour tous les pays pour le XIX^e siècle, mais elles le sont pour les principaux pays émetteurs de l'époque. Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) des sources d'énergie comprennent toutes celles qui proviennent de la combustion de combustibles fossiles, du brûlage des gaz à la torche et de la production de ciment. Les gaz à effet de serre émis sont le CO₂, le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) et des gaz qui peuvent contribuer dans une large mesure au réchauffement de la planète (gaz F). Les secteurs sont l'énergie, les processus industriels, l'agriculture, les changements d'affectation des terres (tirés de Houghton 2009), et les déchets. L'occupation excessive du patrimoine commun constitué par l'atmosphère, par rapport à la part de la population, est établie sur la base des écarts par rapport à des émissions par habitant uniformes ; en 2005, les pays à revenu élevé comptaient 16 % de la population mondiale ; depuis 1850, les pays aujourd'hui classés dans la catégorie des pays à revenu élevé comptent, en moyenne, environ 20 % de la population mondiale.

« sans danger » les concentrations atmosphériques de ces gaz. Face à l'inertie du système climatique, il est difficilement envisageable de se contenter dans l'immédiat d'interventions de faible portée dans l'idée d'accélérer à plus long terme les efforts d'atténuation¹⁴. De plus, en tardant trop à réagir, on ne fait qu'alourdir le coût de phénomènes dont l'impact va aller croissant et on laisse passer des opportunités d'adopter des mesures d'atténuation peu coûteuses en permettant aux économies de verrouiller leur avenir dans des infrastructures et des modes de fonctionnement à forte intensité de carbone, générant toujours plus d'inertie.

Il faut agir dès maintenant pour que l'augmentation des températures reste le plus proche possible des 2 °C. Un tel réchauffement n'est pas souhaitable, mais nous ne pourrions probablement pas faire mieux. Les économistes ne sont pas unanimes à penser que cette hausse correspond à l'optimum économique. En revanche, dans les milieux politiques et scientifiques, on s'accorde à penser que l'objectif d'un réchauffement maximum de 2 °C est l'option la plus responsable¹⁵, et les auteurs du présent Rapport partagent cette analyse. Du point de vue du développement, un réchauffement très supérieur à 2 °C serait tout simplement inacceptable. Cela étant, pour stabiliser le réchauffement à 2 °C, il faudra profondément modifier les modes de vie, engager une véritable révolution énergétique et transformer les pratiques de gestion des sols et des forêts. Mais cela ne permettra pas de faire l'économie d'importantes mesures d'adaptation. Pour faire face au changement climatique, l'humanité va devoir faire preuve de toute l'inventivité et l'ingéniosité dont elle est capable.

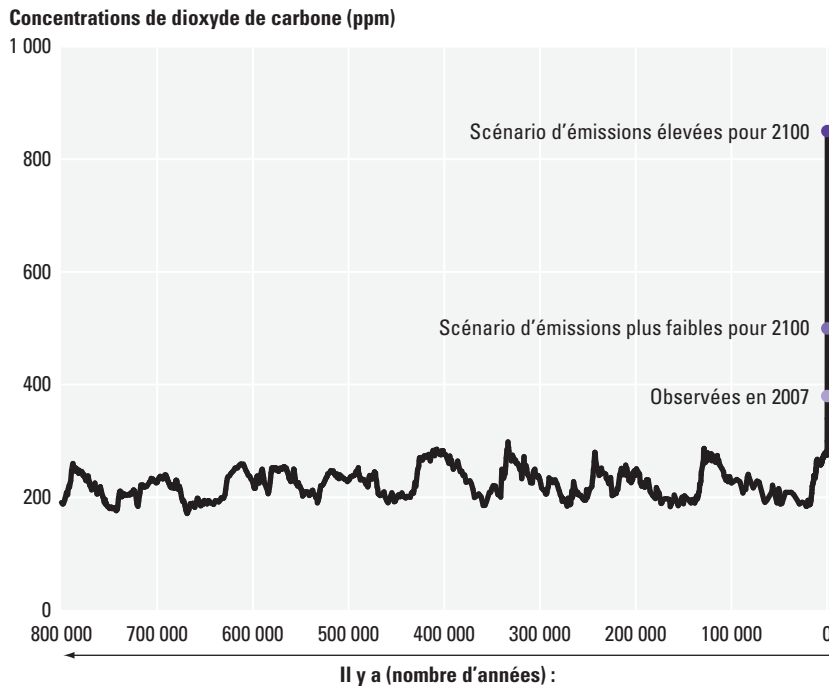
Inertie, équité et ingéniosité : ces trois thèmes reviennent à maintes reprises tout au long de ce rapport. L'inertie est la caractéristique fondamentale du changement climatique ; c'est la raison pour laquelle il nous faut agir maintenant. L'équité est la clé de toute solution mondiale réelle, le facteur essentiel à l'instauration de la confiance nécessaire pour

apporter une solution rationnelle à cette situation tragique du patrimoine commun, la raison pour laquelle nous devons agir ensemble. Quant à l'ingéniosité, elle est la seule arme possible face à un problème complexe, tant au plan politique que scientifique, celle qui pourrait nous permettre d'agir autrement que nous l'avons fait jusqu'à présent. Agir maintenant, ensemble et autrement : voilà comment nous donner les moyens de nous orienter vers un monde intelligent sur le plan climatique. Mais pour cela, encore faut-il être convaincu de la nécessité d'agir.

De bonnes raisons d'agir

La température moyenne de la planète a déjà augmenté de près de 1 °C depuis le début de la période industrielle. Selon le quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), document établi par consensus par plus de 2 000 chercheurs représentant tous les États membres des Nations Unies, le réchauffement climatique est une réalité indiscutable¹⁶. Alors que les concentrations atmosphériques de CO₂, principal gaz à effet de serre, ont été comprises entre 200 et 300 parties par million (ppm) pendant 800 000 ans, elles ont brusquement augmenté pour atteindre environ 387 ppm au cours des 150 dernières années (figure 4), principalement en raison de la combustion de combustibles fossiles et, dans une moindre mesure, de l'agriculture et de l'évolution des modes d'occupation des sols. Dix ans après la signature du protocole de Kyoto, qui fixe les limites applicables aux émissions internationales de carbone, et alors que les pays développés s'apprêtent à établir pour la première fois une comptabilité précise de leurs émissions de carbone, les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère continuent d'augmenter. Pire encore, elles augmentent de plus en plus rapidement¹⁷.

Le changement climatique se traduit déjà par une augmentation des températures moyennes de l'atmosphère

Figure 4 Des émissions de CO₂ démesurées

Source : Lüthi *et al.* 2008.

Note : l'analyse des bulles d'air piégées dans les couches profondes des glaces de l'Antarctique depuis 800 000 ans a permis de mettre en évidence l'évolution des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère de la planète. Durant cette longue période, des facteurs naturels ont provoqué des variations de la concentration de CO₂ à l'intérieur d'une fourchette de l'ordre de 170 à 300 parties par million (ppm). Les données sur les températures montrent clairement que ces variations ont contribué de manière cruciale à déterminer le climat dans le monde. Par suite de l'activité humaine, la concentration actuelle de CO₂, qui est de l'ordre de 387 ppm, dépasse d'environ 30 % le niveau le plus élevé jamais enregistré depuis au moins 800 000 ans. En l'absence de mesures résolues pour les maîtriser, les émissions telles qu'indiquées par les projections pour le XXI^e siècle produiront des concentrations de CO₂ atteignant le double ou le triple du niveau le plus élevé des 800 000 dernières années, comme le montrent les points correspondant portés sur le graphique pour les deux scénarios d'émissions en 2100.

et des océans, la fonte de neiges et de glaces partout dans le monde et la hausse du niveau des mers. Les journées et les nuits froides sont des phénomènes de plus en plus rares, tout comme les gelées, tandis que les canicules se font de plus en plus fréquentes. À l'échelle mondiale, les précipitations augmentent, lors même que l'Australie, l'Asie centrale, le bassin méditerranéen, le Sahel, l'ouest des États-Unis et bien d'autres régions encore sont frappées par des sécheresses plus fréquentes et plus intenses. Les fortes précipitations et les inondations sont des phénomènes désormais courants, et les tempêtes et les cyclones tropicaux, dont l'intensité semble augmenter, provoquent des dégâts plus importants.

Le changement climatique menace tous les pays, mais plus particulièrement les pays en développement

Au cours de ce siècle¹⁸, si rien n'est fait pour atténuer les effets du changement climatique, les températures pourraient augmenter de plus de 5 °C, ce qui équivaut à la différence entre le climat actuel et celui de la dernière ère glaciaire, période à laquelle les glaciers s'étendaient jusqu'en Europe centrale et arrivaient presque à ce qui est maintenant New York. Cette évolution naturelle s'est étalée sur plusieurs millénaires, alors que le changement climatique d'origine anthropique se produit à l'échelle séculaire, ce qui laisse bien peu de temps aux sociétés et aux écosystèmes pour s'adapter au rythme rapide des variations climatiques. Une telle hausse des températures provoquerait de profondes dislocations dans des écosystèmes d'importance vitale pour les

sociétés humaines et les économies, et pourrait notamment entraîner le dépérissement de la forêt pluviale amazonienne, la disparition totale des glaciers des Andes et de l'Himalaya et une acidification rapide des océans, ce qui provoquerait de graves perturbations des écosystèmes marins et la mort des récifs coralliens. Le rythme et l'ampleur de ces changements pourraient condamner plus de la moitié des espèces à disparaître. Au cours du XXI^e siècle, le niveau de la mer pourrait s'élever d'un mètre¹⁹, menaçant ainsi plus de 60 millions de personnes et des actifs d'une valeur de 200 milliards de dollars dans les seuls pays en développement²⁰. La productivité agricole diminuerait probablement dans le monde entier, et en particulier dans les zones tropicales, même si les pratiques agricoles étaient modifiées en profondeur. Chaque année, la malnutrition pourrait faire plus de trois millions de victimes de plus²¹.

Un réchauffement d'à peine 2 °C par rapport à la période préindustrielle suffirait à provoquer des perturbations climatiques aux conséquences planétaires. L'intensification de la variabilité du climat, la multiplication et l'intensification de phénomènes météorologiques extrêmes et l'exposition accrue des zones côtières aux marées de tempête pourraient accroître fortement le risque d'impacts climatiques catastrophiques et irréversibles. Entre 100 millions et 400 millions de personnes supplémentaires pourraient souffrir de la faim²², et entre un à deux milliards d'individus de plus pourraient ne plus avoir assez d'eau pour satisfaire à leurs besoins²³.

Les pays en développement sont plus exposés et moins résistants aux risques climatiques Les pays en développement seront touchés de manière disproportionnée. Un réchauffement de 2 °C pourrait entraîner une baisse permanente de 4 à 5 % du revenu annuel par habitant en Afrique et en Asie du Sud²⁴, alors qu'il en résulterait des pertes minimales dans les pays à revenu élevé et une contraction moyenne de l'ordre de 1 % du PIB mondial²⁵. Ces pertes seraient liées principalement à l'impact des variations climatiques sur l'agriculture, secteur d'importance majeure pour les économies de l'Afrique et de l'Asie du Sud (carte 1).

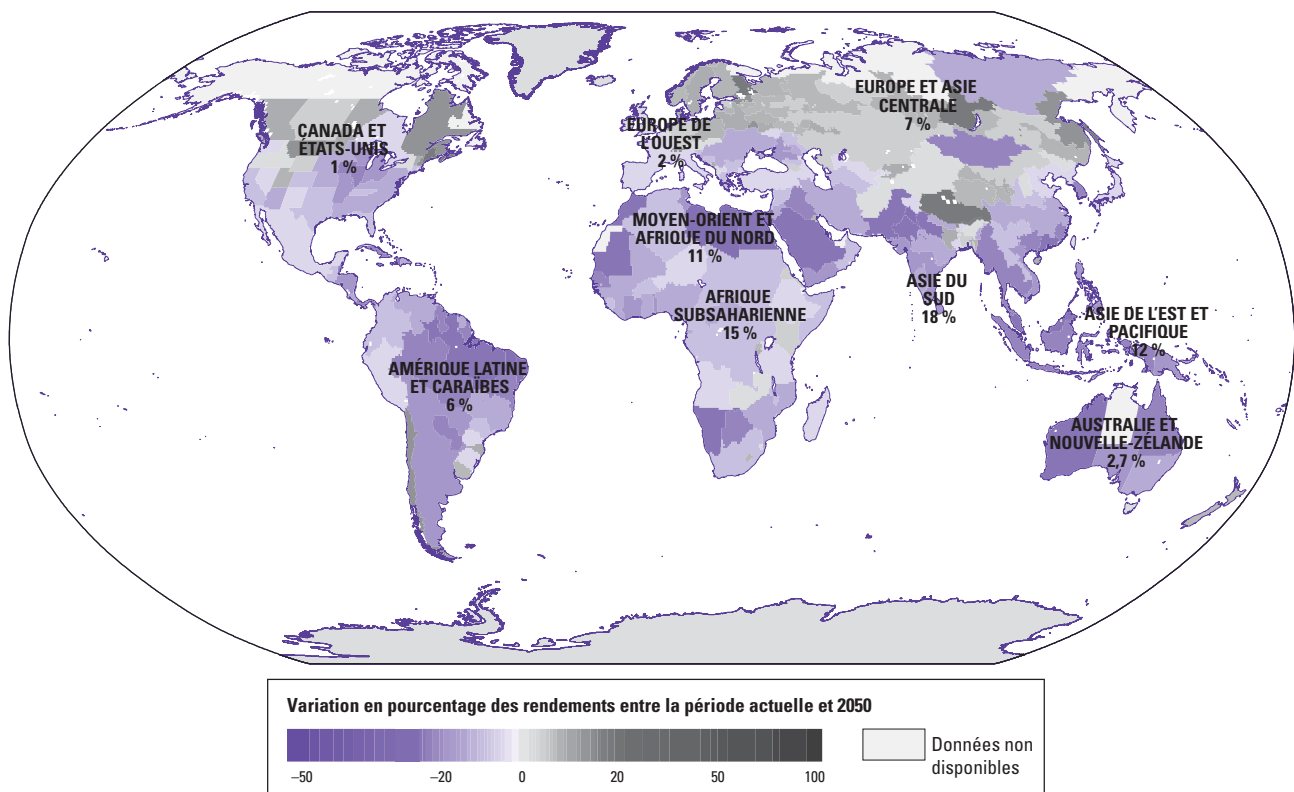
Il ressort des estimations que les pays en développement paieront le plus lourd tribut, soit entre 75 et 80 % du coût des dommages causés par le changement climatique²⁶, et ce pour plusieurs raisons (voir encadré 1). Les pays en développement sont particulièrement dépendants des services des écosystèmes et des ressources naturelles pour produire dans des secteurs tributaires du climat. Une grande partie de la population vit dans des zones exposées aux risques naturels et dans des conditions économiquement précaires. Les capa-

ités d'adaptation financière et institutionnelle des pays en développement sont en outre limitées. Les responsables de l'action publique de certains pays en développement notent qu'ils doivent puiser davantage dans leur budget de développement pour faire face à des situations d'urgence d'origine climatique²⁷.

Les pays à revenu élevé seront aussi touchés par un réchauffement même modéré. En fait, les dommages par habitant seront probablement plus importants dans les pays plus riches, qui regroupent 16 % de la population mondiale mais devraient supporter entre 20 à 25 % du coût total de l'impact du changement climatique. Toutefois, les richesses beaucoup plus vastes dont ils disposent devraient leur permettre de mieux faire face aux problèmes. Le changement climatique aura des effets destructeurs partout, mais il va aussi creuser le fossé entre pays développés et pays en développement.

La croissance est nécessaire au renforcement des capacités de résistance au changement climatique, mais elle ne suffit pas. La croissance économique est indispensable pour

Carte 1 Le changement climatique se traduira, en 2050, par une baisse des rendements agricoles dans la plupart des pays, si les pratiques agricoles et les variétés culturales actuelles continuent d'être employées



Sources : Müller *et al.* 2009 ; Banque mondiale 2008c.

Note : les couleurs de la carte indiquent le pourcentage de variation des rendements indiqué par les projections pour 11 grandes cultures (blé, riz, maïs, mil, pois fourrager, betterave à sucre, patate douce, soja, arachides, tournesol et colza) pour la période 2046-2055, par rapport à la période 1996-2005. Les valeurs des modifications des rendements sont les moyennes des valeurs provenant de l'application de cinq modèles climatiques à trois scénarios d'émissions, en posant en hypothèse l'absence de tout effet de fertilisation du CO₂ (l'augmentation des concentrations ambiantes de CO₂ pourrait stimuler la croissance des plantes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau). Les chiffres indiquent la part du PIB imputable à l'agriculture dans chaque région. (Cette part est de 23 % pour l'Afrique subsaharienne, Afrique du Sud non comprise). Les projections font état d'impacts négatifs importants sur les rendements dans de nombreuses régions fortement tributaires de l'agriculture.

ENCADRÉ 1 *Toutes les régions en développement sont vulnérables aux impacts du changement climatique, pour des raisons diverses*

Les problèmes communs à l'ensemble des pays en développement – ressources humaines et financières limitées, institutions fragiles – sont des causes de leur vulnérabilité. Toutefois, d'autres facteurs géographiques et historiques s'avèrent tout aussi importants.

L'Afrique subsaharienne est une région naturellement fragile (dont les deux tiers sont constitués de déserts ou de terres arides), très exposée aux sécheresses et aux inondations. Or, le changement climatique devrait accroître la fréquence de ces phénomènes. Les économies de la région sont fortement dépendantes des ressources naturelles. La biomasse fournit 80 % des approvisionnements nationaux en énergie primaire. L'agriculture pluviale contribue pour environ 23 % au PIB (Afrique du Sud non comprise) et emploie près de 70 % de la population. Le caractère inadapté des infrastructures pourrait entraver le processus d'adaptation au changement climatique, compte tenu notamment des capacités limitées de stockage d'eau, malgré des ressources abondantes. Le paludisme, première cause de mortalité dans la région, gagne progressivement les zones d'altitude où il ne sévissait pas auparavant.

En **Asie de l'Est et dans le Pacifique**, la densité élevée des populations établies en zone côtière et sur les îles basses – plus de 130 millions de personnes en Chine et environ 40 millions au Viet Nam, soit plus de la moitié de la population – est un des principaux facteurs de vulnérabilité. La forte dépendance de la région, et en particulier des pays les plus pauvres, à l'égard de l'agriculture en tant que source de revenus et d'emplois en est un autre. À mesure que s'intensifient les pressions qui s'exercent sur les terres, l'eau et les forêts, sous l'effet de l'accroissement démographique, de l'urbanisation et de la dégradation de l'environnement liée à une industrialisation rapide, la variabilité accrue du climat et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes vont compliquer la gestion de ces ressources. Dans le bassin du Mékong, la saison des pluies sera marquée par des précipitations plus importantes, tandis que la saison sèche s'allongera de deux mois. La grande dépendance des économies de la région à l'égard des ressources marines – la valeur des récifs coralliens d'Asie du Sud-est qui sont bien gérés est estimée à 13 milliards de dollars – est un autre

facteur de vulnérabilité, d'autant que ces ressources subissent déjà de nombreuses pressions liées à la pollution industrielle, à l'aménagement des zones côtières, à la surpêche et au ruissellement des pesticides agricoles et des nutriments. En **Europe orientale et Asie centrale**, la vulnérabilité au changement climatique tient aux effets persistants du passif hérité de la période soviétique, qui se caractérise par une mauvaise gestion de l'environnement et par l'état médiocre d'une grande partie des infrastructures de la région. À titre d'exemple, la hausse des températures et le recul des précipitations observés en Asie centrale vont aggraver les conséquences environnementales catastrophiques de la disparition de la partie sud de la mer d'Aral (provoquée par le détournement des cours d'eau pour l'irrigation des cultures de coton exploitées dans cette région de climat désertique) : le sable et le sel libérés par l'assèchement des fonds marins sont transportés par les vents jusqu'aux glaciers d'Asie centrale, accélérant la fonte des glaces due à la hausse des températures. Les infrastructures et les logements vieillissants, mal conçus et mal entretenus, également hérités de l'ère soviétique et de la période de transition qui a suivi, sont mal adaptés pour résister aux tempêtes, aux fortes chaleurs et aux inondations.

Les écosystèmes les plus vitaux d'**Amérique latine et des Caraïbes** sont menacés. Premièrement, les glaciers des zones tropicales des Andes semblent condamnés à disparaître, ce qui changera le calendrier et l'intensité du débit des ressources en eau dans plusieurs pays et pourrait compromettre l'approvisionnement, dès 2020, d'au moins 77 millions de personnes et aussi des centrales hydroélectriques qui fournissent plus de la moitié de l'électricité de nombreux pays d'Amérique du Sud. Deuxièmement, le réchauffement et l'acidification des océans vont provoquer des épisodes de blanchiment des coraux de plus en plus fréquents et risquent, à terme, d'entraîner la disparition des récifs coralliens des Caraïbes, qui servent d'habitat aux populations juvéniles de près de 65 % des espèces de poissons du bassin des Caraïbes et offrent une protection naturelle contre les marées de tempête, sans parler de leur attrait touristique vital pour la région. Troisièmement, les dommages qu'ont subis les zones humides du golfe du Mexique ont accentué la vulnérabilité du littoral face à des ouragans dont la violence et la fréquence ne cessent d'augmenter. Enfin,

la plus catastrophique des conséquences du réchauffement climatique dans la région pourrait être un dépérissement massif de la forêt pluviale amazonienne, dont de vastes zones seraient converties en savane, ce qui aurait de graves conséquences pour le climat de la région, voire de la planète tout entière. Au **Moyen-Orient et en Afrique du Nord**, région la plus aride du monde, l'eau est la ressource la plus menacée, et les disponibilités en eau par habitant devraient, selon les prévisions, diminuer de moitié d'ici à 2050 même sans prendre en compte les conséquences des variations climatiques. La région n'a guère de solutions pour accroître ses réserves en eau, puisque près de 90 % de ses ressources en eau douce sont déjà stockées dans des réservoirs. Les effets conjugués de l'aggravation des pénuries d'eau et de la variabilité accrue du climat sont une réelle menace pour le secteur agricole, qui consomme environ 85 % des ressources en eau de la région. Cette vulnérabilité est d'autant plus grande que la population et les activités économiques se concentrent principalement dans les zones côtières exposées aux risques d'inondation, et que les pénuries d'eau pourraient encore accentuer les tensions sociales et politiques.

En **Asie du Sud**, les ressources naturelles subissent déjà des pressions considérables et sont sensiblement dégradées en raison de facteurs géographiques, de niveaux de pauvreté élevés et de la forte densité de population. Le changement climatique aura probablement un impact sur les ressources en eau en agissant sur le régime des moussons, qui fournissent 70 % des précipitations annuelles sur une période de quatre mois, et en entraînant la fonte des glaciers himalayens. La hausse du niveau des mers suscite de vives préoccupations dans cette région où les zones côtières sont nombreuses et densément peuplées, où les plaines agricoles sont menacées par les intrusions de sel et où l'on compte un grand nombre d'îles de faible altitude. Si les scénarios climatiques les plus pessimistes venaient à se produire, la hausse du niveau des mers pourrait submerger une grande partie des Maldives et inonder 18 % de la superficie du Bangladesh.

Sources : De la Torre, Fajnzylber et Nash 2008 ; Fay, Block et Ebinger 2010 ; Banque mondiale 2007a ; Banque mondiale 2007c ; Banque mondiale 2008b ; Banque mondiale 2009b.

réduire la pauvreté. Elle est aussi au cœur du processus qui permettra de renforcer la résistance des pays pauvres aux variations climatiques. Toutefois la croissance ne peut constituer la seule réponse à un tel phénomène. Elle ne sera probablement pas assez rapide pour aider les pays les plus démunis, et pourrait même accroître leur vulnérabilité aux aléas climatiques (encadré 2). En outre, la croissance n'est généralement pas suffisamment équitable pour garantir la protection des plus pauvres et des plus vulnérables. Elle ne garantit pas non plus le bon fonctionnement des principales institutions. Enfin, si elle repose sur des modes de production à forte intensité de carbone, elle ne peut qu'accroître le réchauffement planétaire.

Il n'y a cependant aucune raison de penser qu'un profil de développement à faible intensité de carbone implique nécessairement une croissance économique lente : l'annonce de réglementations environnementales a, dans bien des cas, provoqué des mises en garde contre la perte massive d'emplois et l'effondrement de certains secteurs industriels qui ne se sont, toutefois, que très rarement concrétisés²⁸. Certes, les coûts de transition sont importants, notamment lorsqu'il s'agit de mettre au point des technologies et des infrastructures à faible intensité de carbone dans les secteurs de l'énergie, des transports, du logement, de l'aménagement urbain et du développement rural. Il est souvent dit que ces coûts de transition sont inacceptables, que les besoins des pays pauvres appellent des investissements autrement plus urgents, et qu'il faut veiller à ne pas sacrifier aujourd'hui le bien-être des plus démunis pour préserver les intérêts de générations futures qui seront peut-être plus riches. Si ces

préoccupations sont recevables, il n'en demeure pas moins que l'adoption de mesures ambitieuses d'adaptation au changement climatique se justifie pleinement du point de vue économique.

L'économie du changement climatique : il est possible de réduire le risque climatique à un coût abordable

Le changement climatique a un coût, quelle que soit la politique retenue. Consacrer moins de ressources aux mesures d'atténuation suppose d'investir davantage dans l'adaptation et de se résoudre à des dommages plus importants : il faut donc comparer le coût de l'action à celui de l'inaction. Toutefois, comme expliqué au chapitre 1, cette comparaison est difficile dans la mesure où l'incertitude règne en ce qui concerne les technologies qui seront disponibles à l'avenir (et leur coût), la capacité des sociétés et des écosystèmes à s'adapter (et à quel prix), l'ampleur des dommages que provoquera l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et des températures susceptibles de constituer des seuils ou des points de non-retour au-delà desquels les impacts du changement climatique prendront des proportions catastrophiques (Science Focus). Les questions relatives à la répartition des interventions dans le temps (les mesures d'atténuation prises par une génération seront bénéfiques à nombre de générations futures) et dans l'espace (certaines régions sont plus vulnérables que d'autres et donc plus à même de demander des mesures d'atténuation vigoureuses à l'échelle mondiale), et les difficultés que soulève l'évaluation de la perte de vies humaines, de moyens d'existence et de services non commerciaux comme la biodi-

ENCADRÉ 2 *La croissance économique : une condition nécessaire, mais pas suffisante*

Les pays riches disposent de ressources plus importantes pour faire face aux impacts du changement climatique. Leurs populations plus instruites et en meilleure santé sont intrinsèquement plus résistantes. Toutefois, le processus de croissance peut accentuer la vulnérabilité au changement climatique, comme c'est le cas dans les provinces chinoises proches de Beijing très exposées au risque de sécheresse, où l'extraction de ressources en eau pour l'agriculture, l'industrie et la consommation des ménages ne cesse d'augmenter, de même qu'en Indonésie, à Madagascar, en Thaïlande et dans les régions des États-Unis situés en bordure du Golfe du Mexique, où les mangroves qui protégeaient le littoral ont été défrichées pour faire place à des installations

touristiques et à des élevages de crevettes. La croissance économique ne sera probablement pas assez rapide pour que les pays à faible revenu puissent se doter des mêmes moyens de protection que les pays riches. Le Bangladesh et les Pays-Bas sont parmi les pays les plus exposés à l'élévation du niveau de la mer. Le Bangladesh a déjà engagé de vastes efforts pour réduire la vulnérabilité de la population en mettant sur pied, au niveau des communautés, un système très efficace d'alerte avancée en cas de cyclone ainsi qu'un programme de prévision des inondations et d'intervention qui fait appel à des compétences locales et internationales. Toutefois, le manque de ressources limite la portée de ces mesures d'adaptation — le revenu annuel par

habitant du Bangladesh est de 450 dollars. Dans le même temps, le gouvernement des Pays-Bas prévoit d'investir chaque année, pendant un siècle, 100 dollars par habitant. Pourtant, en dépit d'un revenu annuel par habitant 100 fois supérieur à celui du Bangladesh, les Pays-Bas ont engagé un programme de retrait sélectif des zones de faible élévation, car ils n'ont plus les moyens d'assurer la protection de l'ensemble du territoire contre les effets du changement climatique.

Sources : Barbier et Sathiratai 2004 ; Deltacommissie 2008 ; FAO 2007 ; Gouvernement du Bangladesh 2008 ; Guan et Hubacek 2008 ; Karim et Mimura 2008 ; Shalizi 2006 ; et Xia *et al.* 2007.

versité et les services des écosystèmes, ne font qu'ajouter à la complexité de l'exercice.

Les économistes tentent généralement de définir la politique climatique optimale en s'appuyant sur une analyse coûts-avantages. Toutefois, comme le montre l'encadré 3, les résultats d'une telle analyse dépendent des hypothèses concernant les incertitudes en présence et aussi des choix normatifs relatifs à la répartition spatiale et temporelle des interventions et à l'évaluation des pertes dues au changement climatique (un analyste confiant dans le développement futur des technologies, qui compte que l'impact du changement climatique sera relativement modeste et étalé dans le temps, et qui attache beaucoup moins d'importance à l'avenir qu'au présent, préconisera des interventions immédiates de portée limitée, tandis qu'un analyste ayant une vue plus pessimiste du pouvoir de la technologie fera la démarche inverse.) Les économistes ne sont donc toujours pas parvenus à s'entendre sur le profil de l'intensité en carbone du développement la plus efficace au plan social et économique. Toutefois, un consensus semble se dégager sur certains points. Les principaux modèles démontrent que les avantages d'un réchauffement climatique stabilisé à 2,5 °C seraient supérieurs aux coûts (ce qui ne serait pas nécessairement le cas à 2 °C)²⁹. Tous aboutissent par ailleurs à la conclusion qu'une politique de laisser-faire (en d'autres termes l'absence totale de mesures d'atténuation) aurait des conséquences désastreuses.

Les partisans d'une réduction graduelle des émissions de gaz à effet de serre estiment que l'objectif optimal – celui dont le coût total (à savoir la somme des coûts des impacts du changement climatique et des mesures d'atténuation et d'adaptation) serait le plus faible – pourrait être très largement supérieur à 3 °C³⁰. Ils observent cependant que le surcoût des mesures visant à stabiliser le réchauffement aux alentours de 2 °C serait modeste et ne dépasserait pas 0,5 % du PIB (encadré 3). En d'autres termes, le coût total de l'option d'un réchauffement stabilisé à 2 °C n'est que très légèrement supérieur au coût total de l'option beaucoup moins ambitieuse constituée par l'optimum économique. Pourquoi ? En partie parce que les économies réalisées en limitant l'ampleur des mesures d'atténuation seraient très largement absorbées par les coûts supplémentaires d'impacts plus graves ou de mesures d'adaptation plus coûteuses³¹, et en partie parce que la différence entre des interventions ambitieuses et des mesures plus modestes tient en réalité aux coûts qu'il faudra assumer à l'avenir, et auxquels les adeptes de l'approche graduelle accordent une bien moindre importance.

Les grandes incertitudes relatives aux pertes que pourrait provoquer le changement climatique et la possibilité de risques catastrophiques pourraient fort bien justifier d'engager sans tarder des interventions plus vigoureuses que le laissent supposer les analyses coûts-avantages. Ce surcoût

pourrait être assimilé à une prime d'assurance permettant de maintenir le changement climatique dans ce que les scientifiques estiment être une fourchette plus sûre³². Il est tout à fait possible que l'option consistant à investir moins de 0,5 % du PIB dans une « assurance climatique » soit acceptable par la société, puisque le monde dépense déjà 3 % de son PIB total à des fins d'assurance³³.

Mais au-delà de la question de « l'assurance climatique », se pose celle du montant des coûts d'atténuation qui en résulteront, et des besoins de financement connexes. Les estimations de ces coûts à moyen terme vont de 140 à 175 milliards de dollars par an à l'horizon 2030. Ces chiffres correspondent aux surcoûts par rapport au scénario des politiques inchangées (tableau 1).

Les besoins de financement seront toutefois plus élevés car une grande partie des économies permises par la diminution des coûts d'exploitation associée à l'utilisation d'énergies renouvelables et à l'augmentation des rendements énergétiques ne se matérialisera qu'au bout d'un certain temps. McKinsey, par exemple, estime que si le surcoût doit être de 175 milliards de dollars en 2030, les investissements initiaux requis pourraient être supérieurs de 563 milliards de dollars aux besoins d'investissement dans le scénario des politiques inchangées. McKinsey note que cela correspond à un accroissement de l'ordre de 3 % des investissements mondiaux par rapport à ce dernier scénario, ce qui reste donc probablement dans les limites des capacités des marchés financiers mondiaux³⁴. Toutefois, il a de tous temps été difficile aux pays en développement d'obtenir des financements, ce qui explique leur sous-investissement dans l'infrastructure ainsi que des choix énergétiques privilégiant des options ayant des coûts d'équipement initiaux plus faibles, même si ces choix finissent par engendrer des coûts globaux plus élevés. Il importe donc de rechercher en priorité des mécanismes de financement adaptés. La facture est élevée, mais n'a rien de prohibitif.

Qu'en sera-t-il à plus long terme ? Les coûts d'atténuation des effets du changement climatique ne cesseront de s'accroître à mesure qu'augmenteront les besoins en énergie et la population mondiale. Mais les revenus, eux aussi, augmenteront. En conséquence, la valeur actualisée coûts mondiaux des mesures d'atténuation d'ici à 2100 devrait rester largement inférieure à 1 % du PIB mondial, les estimations étant comprises entre 0,3 % et 0,7 % (tableau 1).

Les estimations des investissements que requiert l'adaptation sont beaucoup plus rares, et celles qui existent sont difficilement comparables. Certaines d'entre elles ne tiennent compte que du coût des mesures visant à protéger les projets financés par l'aide extérieure des effets du changement climatique. D'autres ne couvrent que certains secteurs. Rares sont celles qui prennent en considération l'ensemble des besoins des pays (chapitre 6). Une récente étude de la Banque mondiale consacrée à ces questions indique que le

ENCADRÉ 3 *Le coût de « l'assurance climatique »*

Hof, den Elzen, et van Vuuren ont examiné le degré de sensibilité de l'objectif climatique optimal aux hypothèses relatives à l'horizon temporel, à la sensibilité du climat (à savoir l'ampleur du réchauffement résultant d'un doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère par rapport à l'ère préindustrielle), aux coûts d'atténuation, aux dommages probables et aux taux d'actualisation. Ils ont utilisé à cette fin un modèle d'évaluation intégrée (FAIR) en faisant varier les paramètres pour refléter les hypothèses citées dans certaines études, et notamment dans les travaux de deux économistes de renom : Nicholas Stern, qui préconise des interventions immédiates et ambitieuses, et William Nordhaus, qui est en faveur d'une approche progressive en matière d'atténuation.

Les objectifs climatiques optimaux obtenus à l'aide de ce modèle varient considérablement selon les hypothèses retenues au départ, ce qui n'a rien d'étonnant. (On entend par objectif optimal la concentration ou la hausse de température qui entraînerait la réduction la plus faible de la valeur actuelle nette de la consommation mondiale.) Les « hypothèses Stern » (sensibilité du climat relativement élevée, dommages climatiques relativement importants et horizon à long terme, associés à des taux d'actualisation et à des coûts d'atténuation faibles) donnent une concentration maximale optimale de CO₂e de 540 parties par million (ppm). Les « hypothèses Nordhaus » (sensibilité du climat plus faible, dommages moins importants, horizon temporel plus court et taux d'actualisation plus élevé) produisent un objectif optimal de 750 ppm. Dans les deux cas, les coûts d'adaptation sont implicitement pris en compte dans la fonction de dommages climatiques. La figure décrit le moindre coût de la stabilisation des concentrations atmosphériques dans une fourchette de 500 à 800 ppm pour les hypothèses Stern et pour les hypothèses Nordhaus (ce moindre coût étant représenté

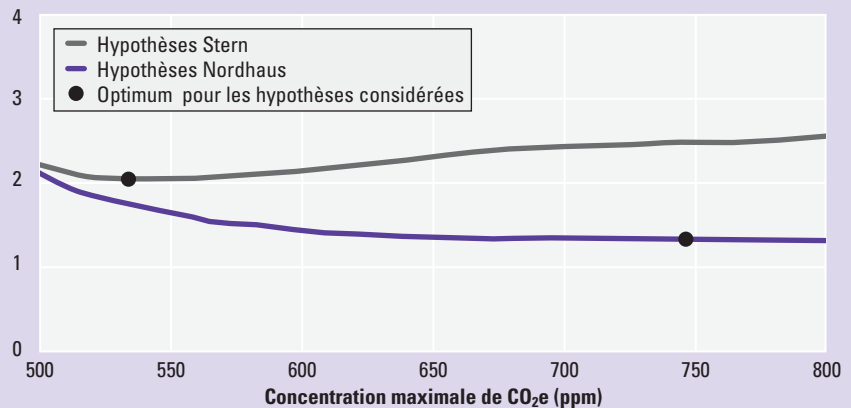
par l'écart entre la valeur actualisée de la consommation produite par le modèle et la valeur actualisée de la consommation qui serait possible en l'absence de changement climatique). Une constatation essentielle se dégage de la figure : les courbes décrivant la perte de consommation pour une large gamme de concentrations maximales en CO₂e sont relativement plates. Par conséquent, si l'on passe de 750 ppm à 550 ppm, on obtient, avec les conditions Nordhaus, une perte de consommation relativement limitée (0,3 %). On peut en déduire que le coût de mesures d'atténuation prises à titre de précaution pour limiter les concentrations à 550 ppm est faible. Avec les hypothèses Stern, l'objectif de 550 ppm se traduit par un gain de la valeur actualisée de la consommation de l'ordre de 0,5 % par an par rapport à l'objectif de 750 ppm. Le choix d'une concentration maximale

plus faible est largement motivé par le désir de réduire le risque d'événements catastrophiques associé au réchauffement climatique. Sous cet angle, le coût de la différence entre des concentrations maximales en CO₂e élevées et des concentrations plus faibles peut être assimilé au coût de l'assurance climatique – autrement dit, la quantité de bien-être à laquelle l'humanité serait disposée à renoncer pour réduire le risque d'une catastrophe. Il ressort de l'analyse de Hof, den Elzen et van Vuuren que le coût de l'assurance climatique reste modeste dans un très grand nombre des hypothèses relatives au système climatique et au coût de l'atténuation des effets du changement climatique.

Source : Hof, den Elzen et van Vuuren 2008

Des sacrifices différents : Recul de la consommation par rapport au niveau qu'elle aurait dans un monde sans réchauffement climatique pour différentes concentrations maximales de CO₂e

Réduction de la valeur actuelle nette de la consommation (%)



Source : Basé sur Hof, den Elzen, et van Vuuren 2008, figure 10.

Note : Les courbes indiquent la contraction en pourcentage de la valeur actuelle de la consommation par rapport à ce qu'elle serait en l'absence de modification du climat, pour différentes valeurs cibles de concentrations maximales de CO₂e. Les « hypothèses Stern » et les « hypothèses Nordhaus » désignent les choix concernant la valeur de paramètres essentiels du modèle, comme indiqué dans le texte. Le point porté sur chacune des courbes indique l'optimum pour les hypothèses correspondantes, l'optimum étant défini comme la concentration en gaz à effet de serre qui réduirait le plus possible la contraction de la consommation mondiale due à la somme des coûts d'atténuation et des dommages causés par les impacts.

Tableau 1 Surcoûts d'atténuation et besoins de financement connexes pour maintenir une trajectoire à 2 °C : Quels seront les besoins dans les pays en développement à l'horizon 2030 ?

| Modèle | Coût d'atténuation | Besoin de financement |
|----------|--------------------|-----------------------|
| AEI ETP | | 565 |
| McKinsey | 175 | 563 |
| MESSAGE | | 264 |
| MiniCAM | 139 | |
| REMIND | | 384 |

Sources : Perspectives des technologies de l'énergie de l'AIE : IEA 2008c ; McKinsey : McKinsey & Company 2009 et données supplémentaires fournies par McKinsey (J. Dinkel) pour 2030, sur la base d'un taux de change de USD 1,25 pour € 1 ; MESSAGE : IIASA 2009 et données supplémentaires fournies par V. Krey ; MiniCAM : Edmonds *et al.* 2008 et données supplémentaires fournies par J. Edmonds et L. Clarke ; REMIND : Knopf *et al.*, à paraître et données supplémentaires fournies par B. Knopf.

Note : les surcoûts d'atténuation et les besoins de financement connexes sont calculés par rapport au scénario du laisser-faire. Les estimations correspondent à une situation dans laquelle les émissions de gaz à effet de serre sont stabilisées à 450 ppm CO_{2e}, pour laquelle la probabilité de maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C à l'horizon 2100 est de 40 à 50 % (Schaeffer *et al.*, 2008 ; Hare et Meinshausen 2006). Le modèle des Perspectives des technologies de l'énergie de l'AIE a été mis au point par l'Agence internationale pour l'énergie ; McKinsey est une méthode exclusive mise au point par McKinsey & Company ; MESSAGE, MiniCAM, et REMIND sont des modèles soumis à un examen par les pairs de, respectivement, l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués, du Pacific Northwest Laboratory, et du Potsdam Institute for Climate Impact Research. Le modèle de McKinsey comprend tous les secteurs ; d'autres modèles ne prennent en compte que les efforts d'atténuation dans le secteur de l'énergie. MiniCAM fait état de coûts d'atténuation de 168 milliards de dollars en 2035, en dollars constants de 2000 ; Le chiffre de 2030 résulte de l'interpolation du montant précédent, qui a ensuite été converti en dollars de 2005.

Tableau 2 À long terme, combien cela coûtera-t-il ? Valeur actualisée des coûts d'atténuation à l'horizon 2100

| Modèles | Valeur actuelle du total des investissements au titre de l'atténuation jusqu'en 2100, pour des émissions de 450 ppm CO _{2e} (pourcentage du PIB) | |
|---------|---|-----------------------|
| | Monde | Pays en développement |
| DICE | 0,7 | |
| FAIR | 0,6 | |
| MESSAGE | 0,3 | 0,5 |
| MiniCAM | 0,7 | 1,2 |
| PAGE | 0,4 | 0,9 |
| REMIND | 0,4 | |

Sources : DICE : Nordhaus 2008 (estimations effectuées à partir du tableau 5.3 et de la figure 5.3) ; FAIR : Hof, den Elzen, and van Vuuren 2008 ; MESSAGE : IIASA 2009 ; MiniCAM : Edmonds *et al.* 2008 et communications personnelles ; PAGE : Hope 2009 et communications personnelles ; REMIND : Knopf *et al.* à paraître.

Note : DICE, FAIR, MESSAGE, MiniCAM, PAGE, et REMIND sont des modèles soumis à un examen par les pairs. Les estimations sont effectuées sur la base d'une stabilisation des gaz à effet de serre à 450 ppm de CO_{2e}, pour laquelle la probabilité de maintenir le réchauffement de la planète à moins de 2 °C à l'horizon 2100 est de 40 à 50 % (Schaeffer *et al.* 2008a ; Hare et Meinshausen 2006). Le modèle FAIR indique les coûts d'atténuation sur la base des conditions basses (voir le tableau 3 de Hof, den Elzen, et van Vuuren 2008).

montant annuel des investissements destinés à l'adaptation pourrait être compris entre 75 et 100 milliards de dollars dans les seuls pays en développement³⁵.

Un monde intelligent sur le plan climatique est à portée de main à condition d'agir maintenant, ensemble et autrement

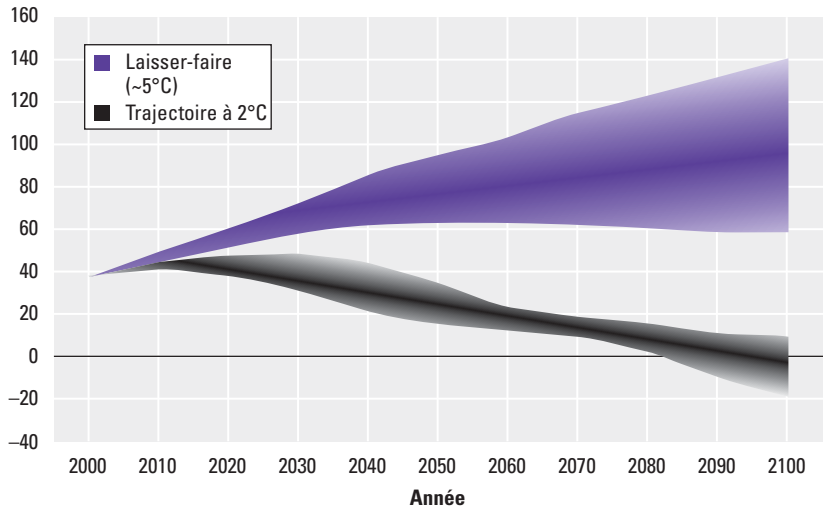
Bien que le coût marginal des efforts de réduction du risque climatique soit faible et que les investissements requis soient loin d'être d'un niveau prohibitif, tenter de stabiliser le réchauffement de la planète aux alentours de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles reste un objectif extrêmement ambitieux. Pour l'atteindre, il faudra que, d'ici 2050, les niveaux d'émissions ne soient plus que la moitié de ce qu'ils étaient en 1990 et qu'ils soient nuls ou négatifs à l'horizon 2100 (figure 5). Des efforts herculéens devront donc être immédiatement entrepris pour réduire, au cours des 20 prochaines années, le volume des émissions mondiales qui résulteraient d'une politique de laisser-faire d'un volume équivalant au total des émissions actuelles des

pays à revenu élevé. Par ailleurs, un réchauffement de même seulement 2 °C nécessitera la poursuite de mesures d'adaptation coûteuses – pour amener les habitants de la planète à se préparer à de nouveaux types de risque, à changer leurs lieux de résidence, leur alimentation et la manière dont ils conçoivent, édifient et gèrent les systèmes agroécologiques et urbains³⁶.

Les défis de l'atténuation et de l'adaptation sont donc considérables. Le présent Rapport pose toutefois en hypothèse qu'il est possible de s'attaquer à ces défis en adoptant des politiques intelligentes sur le plan climatique, qui impliquent d'agir maintenant, d'agir ensemble (ou à l'échelle mondiale) et d'agir différemment. Agir maintenant en raison de l'inertie considérable qui caractérise aussi bien le système climatique que le système socio-économique. Agir ensemble pour contenir les coûts et protéger les plus vulnérables. Enfin, agir différemment parce que, pour vivre dans un monde sensible à la dimension climatique, il faudra transformer nos systèmes énergétiques ainsi que nos systèmes de production alimentaire et de gestion des risques.

Figure 5 Que nous réserve l'avenir ? Deux options parmi bien d'autres : Une politique de laisser faire ou un vigoureux effort d'atténuation

Projections du volume annuel total des émissions mondiales (Gigatonnes de CO₂e)



Source : Clarke *et al.* à paraître.

Note : La bande supérieure décrit la fourchette des estimations des émissions produites par les différents modèles (GTEM, IMAGE, MESSAGE, MiniCAM) dans un scénario de laisser-faire. La bande inférieure décrit une trajectoire qui pourrait produire une concentration de 450 ppm de CO₂e (avec une probabilité de 50 % de limiter le réchauffement à moins de 2 °C). Les émissions de gaz à effet de serre se composent, notamment, de CO₂, du CH₄, et de N₂O. Des émissions négatives (indispensables, à terme, pour que la trajectoire de 2 °C se concrétise) impliquent que le taux annuel des émissions est inférieur au taux de fixation et de stockage du carbone par des processus naturels (comme la croissance des végétaux) et par des procédés techniques (comme la culture de plantes pour la fabrication de biocarburants et le stockage sous terre du CO₂ émis par leur combustion). GTEM, IMAGE, MESSAGE, et MiniCAM sont les modèles d'évaluation intégrés d'Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, de Netherlands Environmental Assessment Agency, de l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués, et de Pacific Northwest National Laboratory.

Agir maintenant : étant donné l'inertie des systèmes, les actions d'aujourd'hui détermineront les options futures

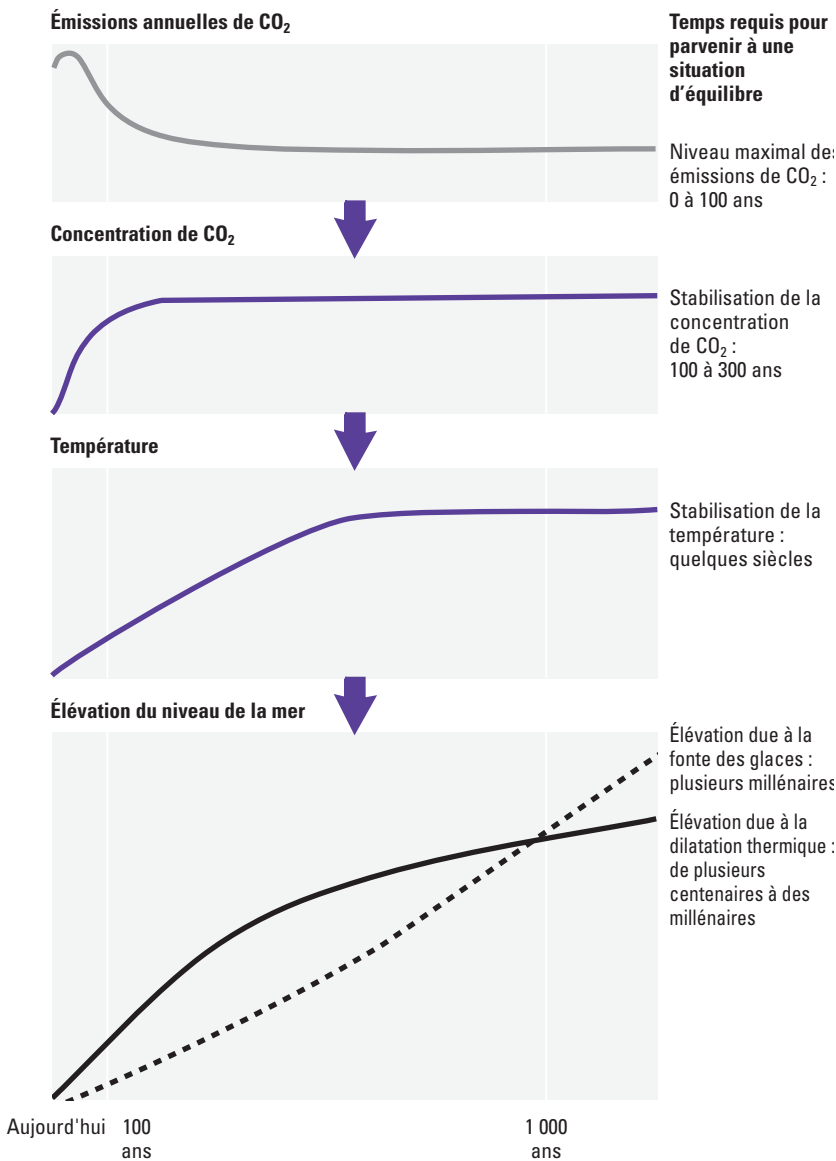
Le système climatique fait preuve d'une grande inertie (figure 6). Les concentrations de CO₂ réagissent avec un décalage temporel à une réduction des émissions : le CO₂ reste dans l'atmosphère pendant des dizaines d'années, voire des siècles, de sorte qu'il faut du temps avant qu'une réduction des émissions ait un impact sur les concentrations. Les températures réagissent avec un décalage temporel à une réduction des concentrations : celles-ci continueront d'augmenter pendant quelques siècles après que l'on est parvenu à stabiliser les concentrations. Enfin, le niveau de la mer réagit avec un décalage temporel à une baisse des températures : la dilatation thermique des océans par suite d'une augmentation de la température se poursuivra pendant au moins un millénaire tandis que l'élévation du niveau de la mer due à la fonte des glaces pourrait perdurer durant plusieurs millénaires³⁷.

La dynamique du système climatique limite donc la mesure dans laquelle des mesures d'atténuation prises à une date future peuvent se substituer à des efforts immédiats. Par exemple, pour stabiliser le réchauffement climatique aux environs de 2 °C (environ 450 ppm de CO₂e), il faudrait que les émissions mondiales commencent immédiatement à diminuer d'environ 1,5 % par an. Si les mesures d'atténuation devaient être retardées de cinq ans, le pourcentage de réduction des émissions devrait être plus élevé. Un retard encore plus long pourrait avoir des effets irréversibles : si aucune mesure n'est prise avant dix ans, il sera probablement impossible de maintenir le réchauffement climatique à 2 °C³⁸.

L'inertie est également un aspect de l'environnement bâti, qui contraint la marge de manœuvre disponible pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ou pour concevoir des ripostes à des fins d'adaptation. Les investissements dans l'infrastructure portent sur de très gros montants, et ils sont concentrés dans le temps et non pas distribués de manière uniforme³⁹. Ils ont aussi une longue durée de vie : entre 15 et 40 ans pour les usines et les centrales électriques, entre 40 et 75 ans pour les réseaux routiers, ferroviaires et électriques. Les décisions relatives à l'affectation des terres et aux formes urbaines (c'est-à-dire la structure et la densité des villes) font sentir leurs effets pendant plus d'un siècle. Par ailleurs, les infrastructures qui ont de longues durées de vie génèrent des investissements dans des biens d'équipement associés (des voitures dans le cas des villes à faible densité ; des centrales de cogénération au gaz à proximité de gazoducs) qui verrouillent les économies dans des styles de vie et des modes de consommation énergétique déterminés.

L'inertie associée au capital physique n'a rien de comparable à celle du système climatique et a probablement plus un effet sur le coût qu'un impact sur la faisabilité de la réalisation d'un objectif d'émissions particulier ; elle est néanmoins importante. Les opportunités de passer d'un parc d'équipements à forte intensité de carbone à un parc sobre en carbone ne se répartissent pas uniformément dans le temps⁴⁰. La Chine devrait doubler son parc immobilier entre 2000 et 2015. Quant aux projets de construction de centrales au charbon dans le monde entier pour les 25 prochaines années, ils sont tellement nombreux que les émissions de CO₂ que ces centrales pourraient produire durant leur durée de vie utile seraient équivalentes à celles qu'ont générées toutes les activités donnant lieu à la combustion de charbon depuis

Figure 6 Les impacts climatiques sont de longue durée : Hausses des températures et du niveau de la mer associées à de plus fortes concentrations de CO₂



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base de GIEC 2001.

Note : Schémas simplifiés ; les ordres de grandeur indiqués dans chaque schéma ne le sont qu'à titre d'illustration.

le début de l'ère industrielle⁴¹. Seules les centrales qui seront suffisamment proches des sites de stockage pourraient être adaptées de manière à pouvoir piéger et stocker le carbone (à condition que la technologie requise soit commercialisée : voir les chapitres 4 et 7). Il serait extrêmement coûteux de fermer ces centrales avant la fin de leur vie utile – si l'évolution du climat rendait une telle mesure impérative.

L'effet d'inertie touche également la recherche et développement (R-D) et freine le déploiement des nouvelles technologies. L'expérience montre qu'il faut une cinquantaine d'années pour que les nouvelles sources d'énergie atteignent la moitié de leur potentiel⁴². Il faut donc procéder dès maintenant à d'importants investissements dans la R-D pour être sûr que de nouvelles technologies seront disponibles dans un

avenir proche et qu'elles seront rapidement disponibles sur le marché. Pour cela il pourrait être nécessaire d'investir 100 à 700 milliards de dollars de plus par an⁴³. Il importe aussi d'innover dans le domaine des transports, de la construction, de la gestion de l'eau, de l'aménagement urbain et dans de nombreux autres secteurs qui ont un impact sur le changement climatique, mais qui en subissent aussi les effets, de sorte que l'innovation revêt une importance cruciale également pour l'adaptation.

L'inertie caractérise également le comportement des individus et celui des organisations. Même si le public est davantage préoccupé qu'auparavant par le changement climatique, les comportements ne changent guère. Des technologies à haut rendement énergétique, dont le coût serait rapidement

amorti, sont disponibles, mais elles ne sont pas employées. Le financement de la R-D dans les énergies renouvelables est insuffisant. Les agriculteurs sont incités à irriguer leurs cultures de manière excessive, ce qui a un impact sur la consommation d'énergie puisque cette dernière est essentielle à la fourniture et au traitement de l'eau. On continue de construire dans des zones à risques, et l'infrastructure est toujours conçue en fonction du climat d'époques révolues⁴⁴. Il est long et difficile de modifier les comportements ou les objectifs et les normes des organisations, mais l'expérience montre que cela est faisable (chapitre 8).

Agir ensemble : à des fins d'équité et d'efficacité

Il est nécessaire de mener une action collective pour lutter efficacement contre le changement climatique et réduire les coûts des mesures d'atténuation⁴⁵. Il est également essentiel de faciliter le processus d'adaptation, notamment en gérant mieux les risques et en améliorant les filets de protection destinés aux plus vulnérables.

Pour contenir les coûts et les répartir de manière équitable

La faisabilité financière des mesures d'atténuation dépend de l'efficacité de ces dernières par rapport à leur coût. Lorsqu'ils estiment les coûts des plans d'atténuation examinés précédemment, les concepteurs des modèles partent de l'hypothèse que les réductions des émissions de gaz à effet de serre se concrétisent où que ce soit et au moment où elles sont les moins onéreuses. En d'autres termes, des efforts sont déployés pour accroître les rendements énergétiques, utiliser l'énergie de manière plus rationnelle et adopter toute autre option peu coûteuse pour atténuer le changement climatique où que ce soit, c'est-à-dire dans quelque pays ou secteur où une opportunité se présente. Et les investissements dans de nouveaux équipements et matériels, dans des infrastructures ou encore dans de nouveaux projets agricoles et forestiers sont programmés au moment où ils permettent de réduire le plus possible les coûts et ils évitent aux pays de se retrouver prisonniers de processus économiques à forte intensité de carbone qu'il serait coûteux de modifier à une date ultérieure. En pratique, les assouplissements qui seront nécessairement apportés à la règle « où que ce soit et au moment où », en particulier en l'absence d'une tarification mondiale du carbone, auront pour effet d'accroître considérablement le coût des mesures d'atténuation.

Il s'ensuit que des efforts mondiaux d'atténuation procurent des gains considérables ; les experts sont unanimes sur ce point. Lorsqu'un pays ou un groupe de pays s'abstient de prendre des mesures d'atténuation, d'autres doivent recourir à des options d'atténuation plus onéreuses pour pouvoir atteindre un objectif mondial donné. Par exemple, selon une estimation, la non-participation des États-Unis, d'où émanent 20 % des émissions mondiales, au Protocole de Kyoto a pour effet d'accroître le coût de la réalisation de l'objectif initial d'environ 60 %⁴⁶.

Pour des raisons aussi bien d'équité que d'efficacité, il importe de concevoir des instruments financiers qui dissocient les sources de financement des mesures d'atténuation du lieu d'application de ces mesures. Sinon, le potentiel d'atténuation considérable qu'offrent les pays en développement (65 à 70 % des réductions d'émissions représentant un surcroît d'investissement à l'échelle mondiale de 45 à 70 % à l'horizon 2030)⁴⁷ ne sera pas pleinement exploité, et le coût de la réalisation d'un objectif, quel qu'il soit, sera beaucoup plus élevé. Dans le cas extrême où, faute de financements, l'adoption de toute mesure d'atténuation dans les pays en développement serait repoussée à 2020, le coût de la stabilisation du réchauffement climatique aux alentours de 2 °C pourrait plus que doubler⁴⁸. Sachant que, selon les estimations, le montant cumulé des coûts d'atténuation devrait être compris entre 4 et 25 milliers de milliards de dollars⁴⁹ au cours du siècle à venir, les pertes associées à un tel retard sont d'une ampleur telle que le financement d'une action précoce dans les pays en développement par les pays à revenu élevé déterminés à limiter un changement climatique dangereux présente des avantages économiques manifestes⁵⁰. De manière plus générale, le coût total des efforts d'atténuation pourrait être grandement réduit par le recours aux mécanismes du marché du carbone, à des transferts financiers et à des signaux-prix performants qui permettent d'obtenir des résultats proches de ceux qui résulteraient de la concrétisation du principe « où que ce soit et au moment où ».

Pour mieux gérer les risques et protéger les plus pauvres

Beaucoup d'endroits sont exposés à des risques qui se concrétisaient autrefois rarement mais qui prennent maintenant de l'ampleur, comme les inondations en Afrique et le cyclone qui a frappé le Brésil en 2004⁵¹, le premier jamais observé dans l'Atlantique Sud. Il devient plus important de réduire le risque de catastrophes induites par le climat – notamment grâce à des systèmes d'alerte avancée dans les communautés, au suivi du climat, à la mise en place d'infrastructures plus sûres et au renforcement et à l'application des codes de zonage et de construction. Des innovations financières et institutionnelles peuvent également limiter les risques que courent les êtres humains en ce qui concerne leur santé et leurs moyens de subsistance. Il faut, pour cela, que des mesures soient prises au niveau national – mais les mesures que pourront adopter les pays auront bien plus de poids si elles sont appuyées par des financements internationaux et le partage des meilleures pratiques.

Néanmoins, comme le montre le chapitre 2, les mesures de réduction des risques ne permettront jamais d'éliminer totalement ces derniers ; il restera toujours un risque résiduel qu'il faudra aussi gérer par le biais de mécanismes améliorés de préparation et de riposte. Il pourrait donc falloir pour-

suivre le développement de manière différente, en accordant une place bien plus grande à la dimension climatique et aux risques liés aux phénomènes météorologiques. La coopération internationale, par exemple sous forme d'un effort concerté pour améliorer la production et la diffusion généralisée d'informations climatiques (chapitre 7) et d'échanges des meilleures pratiques pour faire face à un climat changeant et plus variable⁵², peut largement y contribuer.

L'assurance est une autre option qui peut être retenue pour gérer le risque résiduel, mais elle est loin d'être une panacée. Le risque climatique suit une trajectoire à la hausse et se manifeste en général au niveau de régions tout entières ou de vastes groupes de population de sorte qu'il est difficile de s'assurer contre lui. De surcroît, même lorsqu'une assurance a été contractée, les pertes associées à une catastrophe (de vastes inondations ou une profonde sécheresse) ne peuvent pas être pleinement absorbées par les individus, les communautés et le secteur privé. Confronté à un climat plus volatile, l'État jouera de plus en plus le rôle d'assureur de dernier recours, et assumera de manière implicite la responsabilité du financement des efforts de redressement et de reconstruction menés après une catastrophe. Les pays devront donc préserver leurs propres liquidités en temps de

crise, en particulier les plus pauvres ou les plus petits qui sont financièrement vulnérables aux impacts du changement climatique : le cyclone Ivan a causé à la Grenade des dégâts dont le montant a atteint 200 % de son PIB⁵³. La disponibilité immédiate de fonds pour lancer le processus de réhabilitation et de reprise permet de limiter le dérapage du développement dû aux catastrophes.

Les mécanismes d'assurance plurinationaux et de réassurance présentent de l'intérêt. Le Mécanisme d'assurance contre les risques de catastrophes dans les Caraïbes répartit les risques entre les 16 pays des Caraïbes, en mobilisant des ressources sur le marché de la réassurance pour pouvoir fournir rapidement des liquidités au gouvernement des pays touchés par des cyclones et des tremblements de terre destructeurs⁵⁴. De tels mécanismes peuvent avoir besoin d'un appui de la communauté internationale. De manière plus générale, les pays à revenu élevé ont un rôle crucial à jouer en veillant à ce que les pays en développement aient accès en temps voulu aux ressources nécessaires lorsqu'un choc se produit, que ce soit en soutenant ces mécanismes ou en finançant directement des interventions d'urgence.

L'assurance et les financements au titre d'interventions d'urgence ne sont toutefois que des éléments d'un cadre

ENCADRÉ 4 *Les filets de protection : de la garantie de ressources à la réduction de la vulnérabilité au changement climatique*

Le Bangladesh subit de longue date les assauts de cyclones et les ravages d'inondations qui pourraient, toutefois, devenir encore plus fréquents et plus intenses. Les filets de protection déjà mis en place par l'État peuvent être relativement facilement adaptés pour faire face aux effets du changement climatique. Les meilleurs exemples en sont le programme d'alimentation des groupes vulnérables, le programme « aliments contre travail », et le nouveau programme de garantie d'emploi.

Le programme d'alimentation des groupes vulnérables est opérationnel toute l'année et couvre généralement plus de 2 millions de ménages. Il est toutefois conçu de manière à pouvoir être déployé à une plus grande échelle en cas de crise : après le cyclone de 2008, ses activités ont été renforcées de manière à couvrir près de 10 millions de ménages. Le ciblage des ménages, assuré aux échelons inférieurs des administrations publiques et suivi au niveau administratif le plus bas est considéré assez satisfaisant.

Le programme « aliments contre travail », qui est généralement opérationnel durant la basse saison agricole, est organisé sur une plus grande échelle durant les situations d'urgence. Il est également poursuivi en collaboration avec les administrations locales, mais sa gestion est sous-traitée à des organisations non-gouvernementales dans de nombreuses parties du pays. Les personnes qui se présentent obtiennent généralement un travail mais, comme dans la plupart des cas, il n'y a pas assez de possibilités d'emploi pour tout le monde, le travail est rationné et attribué à tour de rôle.

Le nouveau programme de garantie d'emploi procure à ceux qui n'ont pas d'autres sources de revenus (ni accès à d'autres filets de protection) un emploi rémunéré sur la base des salaires agricoles versés en basse saison, pour une durée maximale de 100 jours. Grâce à l'élément de garantie, tous ceux qui en ont besoin reçoivent une aide. S'il n'est pas possible de trouver du travail pour une personne, cette dernière a droit à recevoir 40 jours de plein salaire puis 60 jours de demi-salaire.

Certains enseignements se dégagent des programmes menés au Bangladesh, ainsi que d'autres poursuivis notamment en Inde. Pour assurer une riposte rapide, il est nécessaire d'avoir promptement accès à des financements, et d'avoir établi des règles de ciblage permettant d'identifier les personnes dans le besoin – les individus chroniquement défavorisés où ceux qui ont des difficultés temporaires – ainsi que des procédures bien avant que se produise un choc. Un portefeuille de projets « prêts à démarrer », qui présentent un intérêt particulier parce qu'ils accroissent la capacité de résistance (stockage d'eau, systèmes d'irrigation, reboisement et construction de remblais pouvant également servir de route dans les zones à très basse altitude) peut être pré-identifié. On a aussi pu constater en Inde et au Bangladesh qu'il est nécessaire d'avoir l'appui de spécialistes (ingénieurs) pour sélectionner, concevoir et exécuter les travaux publics et pour guider l'achat des matériels et fournitures.

Source : Soumis par Qaiser Khan.

de gestion des risques de plus vaste portée. Les politiques sociales devront contribuer dans une mesure plus importante à aider les populations à faire face à des menaces plus fréquentes et persistantes qui compromettent leurs moyens de subsistance. Ces politiques réduisent la vulnérabilité économique et sociale et permettent de mieux résister au changement climatique. Une population en bonne santé, instruite, jouissant d'une protection sociale, peut mieux faire face à des chocs et à des changements climatiques. Il importera donc de renforcer de telles politiques sociales là où elles ont déjà été mises en œuvre, de les développer là où elles sont inexistantes et de les concevoir de manière à ce que leur couverture puisse rapidement être étendue après un choc⁵⁵. Il est absolument essentiel de mettre en place des filets de protection sociale dans les pays qui n'en sont pas encore dotés ; cela est possible même dans les pays très pauvres comme en témoigne le cas du Bangladesh (encadré 4). Les organismes de développement pourraient aider à étendre l'application des modèles de filets de protection donnant de bons résultats et les adapter aux besoins créés par le changement climatique.

Pour assurer à tous les pays une alimentation et un approvisionnement en eau adéquats Il est essentiel de mener une action internationale pour gérer les défis de la sécurité alimentaire et de l'approvisionnement en eau engendrés par le changement climatique et les pressions démographiques, défis qui se poseront même si la productivité agricole augmente et si l'eau est utilisée de manière plus rationnelle. Un cinquième des ressources renouvelables d'eau douce sont partagées par plusieurs pays⁵⁶. Il s'agit notamment de 261 bassins fluviaux transfrontières, où vivent 40 % de la population mondiale, qui sont régis par plus de 150 traités internationaux auxquels tous les États riverains ne sont pas toujours partie⁵⁷. Pour pouvoir gérer ces ressources de manière plus intensive, les pays concernés devront considérablement renforcer leurs efforts de coopération en négociant de nouveaux traités internationaux ou en modifiant les traités existants sur les eaux internationales. Le système d'allocation de l'eau devra être remanié en raison de la plus grande variabilité des volumes disponibles, mais une réelle coopération ne sera possible que si tous les États riverains participent à la gestion des cours d'eau et en assument la responsabilité.

De la même manière, l'aridité croissante observée dans des pays qui importent déjà une grande partie de leurs aliments, conjuguée à des phénomènes extrêmes plus fréquents, à la progression des niveaux de revenus et à la croissance démographique, accroîtra encore les besoins d'importations alimentaires⁵⁸. Les marchés alimentaires mondiaux sont toutefois étroits : relativement peu de pays exportent ces produits⁵⁹. De faibles fluctuations de l'offre et de la demande peuvent par conséquent avoir des effets

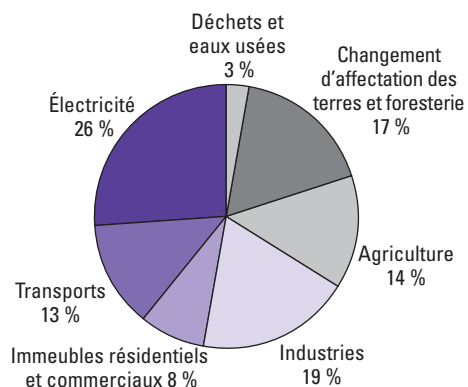
importants sur les prix. Les pays de petite taille, qui n'ont guère d'impact sur les marchés, peuvent avoir des difficultés à s'assurer un approvisionnement alimentaire fiable.

Pour assurer à tous un approvisionnement en eau et une nutrition adéquats, il faudra que le monde puisse compter sur un meilleur système de commerce, moins sujet à d'amples fluctuations des prix. Faciliter l'accès des pays en développement aux marchés en abaissant les barrières commerciales, en assurant des transports à l'épreuve des intempéries (par exemple en accroissant l'accès à des routes praticables en toutes saisons), en améliorant les méthodes de passation des marchés et en fournissant de meilleures informations sur les indices climatiques et boursiers, peut contribuer à accroître l'efficacité du commerce alimentaire et à prévenir d'importantes fluctuations des prix. Il est aussi possible d'éviter des flambées des prix en investissant dans des réserves stratégiques de céréales et autres denrées alimentaires essentielles et en utilisant des instruments de couverture des risques⁶⁰.

Agir différemment : pour transformer les systèmes énergétiques, de production alimentaire et de prise de décisions

Pour obtenir les réductions d'émissions nécessaires, il faudra transformer à la fois notre système énergétique et notre mode de gestion de l'agriculture, d'affectation des terres et des forêts (figure 7). Ces transformations doivent incorporer les adaptations nécessaires à un climat qui se modifie. Qu'elles concernent les cultures qu'il importe de planter ou la puissance hydroélectrique qu'il convient d'installer, il faut que les décisions soient, non pas optimales sur

Figure 7 Émissions mondiales de CO₂e par secteur : Les grandes sources d'émissions sont l'énergie mais aussi l'agriculture et la foresterie



Source : GIEC 2007a, figure 2.1.

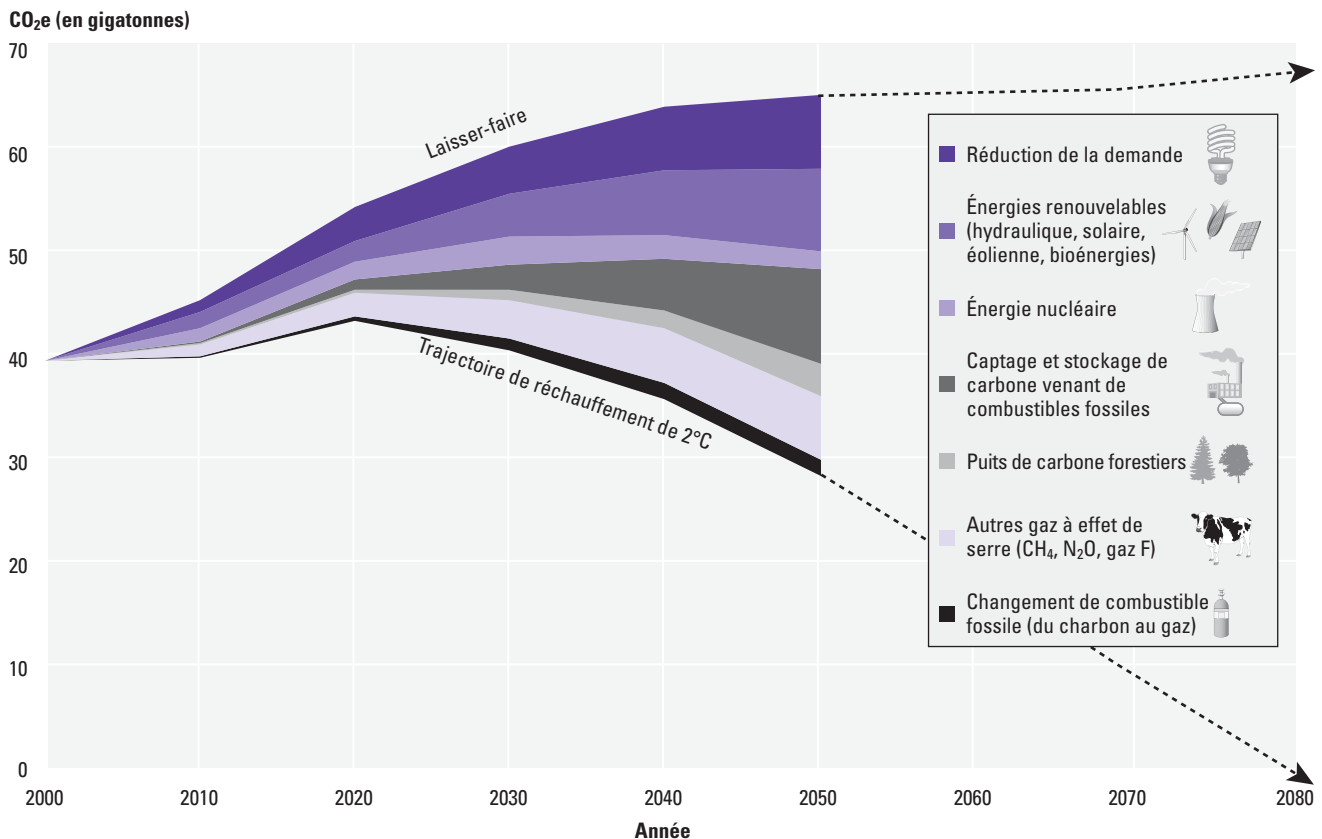
Note : Pourcentage des émissions anthropiques (dues à l'activité humaine) de gaz à effet de serre en 2004, exprimées en CO₂e (défini à la figure 1). Les émissions associées à l'utilisation des terres et au changement d'affectation des terres, par exemple l'emploi d'engrais agricoles, le bétail, le déboisement et les brûlis, représentent environ 30 % du total des émissions de gaz à effet de serre. La fixation du carbone par les arbres, d'autres types de végétation et dans le sol constitue un important puits de carbone, de sorte que la gestion de l'utilisation des terres est un élément essentiel des efforts visant à réduire les gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

la base du climat des années révolues, mais robustes, c'est-à-dire valables pour un large éventail de situations climatiques qui pourraient se concrétiser à l'avenir.

Pour déclencher une véritable révolution énergétique À supposer que les financements nécessaires soient disponibles, est-il possible de réduire les émissions dans une mesure et avec une rapidité suffisantes sans sacrifier la croissance? La plupart des modèles indiquent que cela est possible, mais aucun d'entre eux ne propose de solution facile pour y parvenir (chapitre 4). Un rendement énergétique considérablement plus élevé, une gestion très améliorée de la demande d'énergie et le déploiement sur une grande échelle des techniques de production d'électricité existantes qui émettent peu de CO₂ pourraient générer la moitié des réductions d'émissions nécessaires pour placer le monde sur une trajectoire permettant de stabiliser le réchauffement climatique à environ 2 °C (figure 8). Un grand nombre des mesures proposées présentent d'importants avantages connexes, mais elles se heurtent à des obstacles institutionnels et financiers qui se sont révélés difficiles à surmonter.

Des technologies et des pratiques déjà connues peuvent donc nous faire gagner du temps – sous réserve qu'il soit possible de les appliquer à plus grande échelle. Pour cela, il est absolument essentiel que les prix de l'énergie soient fixés à des niveaux appropriés. Il est difficile, sur le plan politique, d'éliminer les subventions et d'accroître les taxes sur les combustibles, mais ces mesures sont très opportunes si l'on considère les récentes flambées et chutes des prix du pétrole et du gaz. À l'évidence, les pays européens ont tiré profit de la crise pétrolière de 1974 pour alourdir les taxes sur les carburants. La demande de carburant est donc, dans ces pays, moitié moindre de ce qu'elle aurait probablement été avec des prix similaires à ceux enregistrés aux États-Unis⁶¹. L'électricité est aussi deux fois plus chère, et sa consommation par habitant deux fois moins élevée en Europe qu'aux États-Unis⁶². Le niveau des prix contribue à expliquer les raisons pour laquelle les émissions par habitant en Europe (10 tonnes de CO₂e) sont inférieures de plus de moitié à celles affichées par les États-Unis (23 tonnes)⁶³. Selon les estimations, les subventions énergétiques dans les pays en développement se sont chiffrées, globalement, à 310 milliards de dollars en 2007⁶⁴, et profitent de manière

Figure 8 Il faudra toute la panoplie des mesures et des technologies de pointe existantes, et non pas une arme magique, pour placer le monde sur une trajectoire de réchauffement de 2 °C



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base de données IIASA 2009.

disproportionnée aux populations ayant des revenus élevés. Rationaliser les subventions énergétiques en les ciblant sur les groupes de population pauvres et encourager l'utilisation de sources d'énergie et de transports durables pourraient contribuer à réduire les émissions de CO₂ à l'échelle mondiale et procurer un vaste éventail d'autres avantages.

Les signaux-prix ne sont toutefois qu'un seul des outils disponibles pour promouvoir le programme d'amélioration des rendements énergétiques, qui souffre des défaillances du marché, de coûts de transaction élevés et de contraintes financières. Il faut également établir des normes, procéder à des réformes réglementaires et offrir des incitations financières, autant de mesures qui ont un bon rapport coût-efficacité. Les normes de rendement énergétique et les programmes d'étiquette énergie coûtent environ 1,5 centime de dollars le kilowattheure, bien moins que toute option d'alimentation en électricité⁶⁵, tandis que les objectifs de performance énergétique stimulent l'innovation et accroissent la compétitivité⁶⁶. Les compagnies de distribution d'énergie ont, par ailleurs, des circuits qui se prêtent à une rationalisation efficace de la consommation d'énergie dans les logements, les bâtiments commerciaux et les entreprises ; il importe donc d'offrir à ces compagnies des incitations à réaliser des économies d'énergie. Ceci peut être réalisé en découplant les bénéfices qu'elles peuvent réaliser du montant brut de leurs ventes pour les rendre fonction des bons résultats qu'elles peuvent obtenir dans le domaine de la conservation d'énergie. Le remarquable programme de conservation d'énergie en Californie est le fruit de cette approche, dont l'adoption est devenue l'une des conditions nécessaires que doit remplir tout État des États-Unis souhaitant obtenir des subventions fédérales pour le rendement énergétique dans le cadre du programme de relance budgétaire de 2009.

Dans le cas des énergies renouvelables, les investisseurs seront attirés par des contrats d'achat d'électricité à long terme dans un cadre réglementaire qui assure aux producteurs d'électricité indépendants un accès équitable et libre aux réseaux. Pour atteindre cet objectif, il est possible d'im-

poser un système d'achat obligatoire d'énergie renouvelable à prix fixe (dit tarif de distribution) comme en Allemagne et en Espagne, ou de fixer des normes de portefeuilles d'énergies renouvelables exigeant qu'un certain pourcentage de l'électricité provienne de sources renouvelables, comme dans de nombreux États des États-Unis⁶⁷. Il est important de noter que l'augmentation prévisible de la demande réduira probablement les coûts des sources d'énergies renouvelables, ce qui sera profitable à tous les pays. En fait, on a pu constater que la demande escomptée peut contribuer dans une mesure encore plus importante que l'innovation technologique à faire baisser les prix (figure 9).

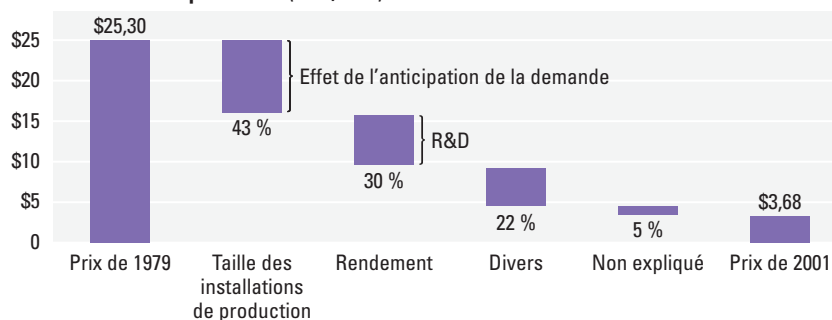
Il sera toutefois indispensable de recourir à de nouvelles technologies : tous les modèles énergétiques examinés aux fins du présent Rapport aboutissent à la conclusion qu'il sera impossible de maintenir le réchauffement à 2 °C uniquement en utilisant l'énergie de manière rationnelle et en diffusant les technologies existantes. Il sera aussi essentiel de pouvoir faire appel à des technologies nouvelles ou émergentes, telles que le piégeage et le stockage du carbone, les biocombustibles de la deuxième génération et le solaire photovoltaïque.

Très peu de nouvelles technologies nécessaires sont déjà prêtes à l'emploi. Les projets de piégeage et de stockage de carbone entrepris à des fins de démonstration ne permettent actuellement de stocker qu'environ 4 millions de tonnes de CO₂ par an⁶⁸. Pour pleinement établir la viabilité de cette technologie dans différentes régions et conditions, il faudra une trentaine d'installations de grande envergure qui coûteront au total entre 75 et 100 milliards de dollars⁶⁹. Or, il faudra disposer d'une capacité de stockage d'un milliard de tonnes de CO₂ par an d'ici 2020 pour maintenir le réchauffement climatique dans une limite de 2 °C.

Il importe également d'investir dans la recherche sur les biocombustibles. Pour accroître la production des biocombustibles de la génération actuelle, il faudrait mettre en culture de grandes superficies actuellement couvertes de forêts naturelles et de prairies et faire concurrence à la production de denrées alimentaires⁷⁰. Les biocombustibles

Figure 9 L'anticipation d'une forte demande a fait baisser les coûts du photovoltaïque solaire en encourageant une production à plus grande échelle

Réduction des coûts par facteur (USD/watt)



Source : Basé sur Nemet 2006.

Note : Les colonnes indiquent le pourcentage de la réduction du coût de l'électricité photovoltaïque solaire entre 1979 et 2001, en imputant la part de la réduction imputable à différents facteurs, tels que la taille des installations de production (qui est déterminée par la demande escomptée) et l'amélioration des rendements (qui résulte des innovations générées par la R-D). La catégorie « Divers » recouvre les réductions du prix du silicium, qui est le principal intrant (12 %), et un certain nombre de facteurs beaucoup moins importants (notamment la réduction des quantités de silicium nécessaires pour obtenir une certaine quantité d'énergie, et la baisse des taux de rejet des produits par suite d'erreurs de fabrication).

de la deuxième génération, qui sont dérivés de cultures autres qu'alimentaires, peuvent faire une concurrence moindre à l'agriculture parce que les cultures en question peuvent se faire sur des terres plus marginales. Elles pourraient toutefois entraîner une réduction des superficies de pâturage et des écosystèmes de prairie et intensifier la concurrence pour les ressources en eau⁷¹.

Pour pouvoir réaliser des avancées décisives dans le domaine des technologies intelligentes sur le plan climatique, il faudra consacrer des ressources bien plus considérables à la recherche, au développement, à la démonstration et au déploiement. Comme indiqué précédemment, le montant total des financements publics et privés de la RD-D dans le domaine de l'énergie est peu élevé, que ce soit par rapport aux besoins estimés ou par rapport aux investissements d'industries innovantes. La modicité des dépenses freine le rythme des progrès, et seulement 0,4 % de tous les brevets concernent des énergies renouvelables⁷². Il faut en outre que les pays en développement aient accès à ces technologies, ce qui exige un accroissement des capacités nationales pouvant identifier et adapter les nouvelles technologies et le renforcement des mécanismes internationaux de transferts de technologie (chapitre 7).

Pour transformer la gestion des sols et de l'eau et gérer des impératifs concurrents

En 2050, le monde devra nourrir 3 milliards de personnes de plus et faire face à l'évolution de la demande de produits alimentaires d'une population plus riche (les personnes qui ont des revenus plus élevés consomment davantage de viande, qui est une source de protéines à forte intensité de ressources). Ce but devra être atteint dans un climat plus rude caractérisé par un plus grand nombre de tempêtes, de périodes de sécheresse et d'inondations et en intégrant l'agriculture dans le programme des mesures d'atténuation parce que la moitié des superficies déboisées chaque année le sont à des fins agricoles et parce que l'agriculture contribue directement pour 14 % aux émissions mondiales. Par ailleurs, les écosystèmes, déjà affaiblis par la pollution, les pressions démographiques et la surexploitation, sont aussi menacés par le changement climatique. Produire plus en protégeant mieux l'environnement dans un climat plus difficile tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre n'est pas un programme facile à réaliser. Il faudra, pour le poursuivre, gérer des impératifs concurrents pour l'utilisation des sols et des ressources en eau par l'agriculture, les forêts et d'autres écosystèmes, les villes et l'énergie.

L'agriculture devra donc devenir plus productive, accroître son rendement à la goutte d'eau et à l'hectare – sans toutefois gonfler les coûts environnementaux actuellement associés à l'agriculture intensive. L'humanité devra également déployer des efforts accrus pour protéger les écosystèmes. Pour éviter la mise en culture de plus vastes

superficielles et ne pas empiéter sur des terres et des forêts « non exploitées », il faudra que la productivité agricole augmente à hauteur de peut-être 1,8 % par an, contre 1 % par an seulement en l'absence de changement climatique⁷³. L'essentiel de cet accroissement devra se matérialiser dans les pays en développement, car les rendements sont déjà proches du maximum réalisable dans les pays à revenu élevé. De nouvelles technologies et pratiques arrivent heureusement sur le marché (encadré 5). Certaines améliorent la productivité et la résistance en piégeant le carbone dans le sol et en réduisant les écoulements des nutriments qui sont nuisibles aux écosystèmes aquatiques. Il faudra toutefois poursuivre les recherches pour comprendre comment déployer ces technologies et ces pratiques à plus grande échelle.

Il importera de mieux concilier les efforts accrus déployés pour assurer la conservation des espèces et des écosystèmes avec les activités de production alimentaire (agricole ou piscicole). Il est impossible de gérer la biodiversité uniquement en constituant des zones protégées – celles-ci couvrent déjà 12 % des terres de la planète mais seulement une proportion minime des océans et du réseau hydrographique d'eau douce –, car il est probable que les aires de distribution des espèces se déplacent en dehors des limites de ces zones. En revanche, des paysages écoagricoles, caractérisés par la création de mosaïques d'espaces cultivés et d'habitats naturels, pourrait faciliter la migration des espèces. Tout en profitant à la biodiversité, les pratiques écoagricoles accroissent la résistance des cultures au changement climatique et améliorent la productivité et les revenus agricoles. En Amérique centrale, les dégâts infligés par le cyclone Mitch⁷⁴ aux exploitations agricoles ont été moitié moindres dans le cas de celles qui appliquaient ces méthodes.

Il est essentiel d'améliorer la gestion des ressources en eau pour adapter l'agriculture au changement climatique. Les bassins fluviaux n'auront plus les mêmes réservoirs naturels d'eau qu'étaient la glace et la neige et subiront une baisse de l'alimentation des nappes souterraines, alors même que la hausse des températures aura pour effet d'accroître l'évaporation. Il est possible d'utiliser l'eau de manière plus efficace en ayant recours conjointement à des technologies nouvelles et existantes, en améliorant l'information et en adoptant des pratiques plus rationnelles. Cela est faisable même dans les pays pauvres et au niveau des petits agriculteurs : en Andhra Pradesh (Inde), un système simple, qui permet aux agriculteurs de suivre le niveau des eaux de pluies et des eaux souterraines et d'apprendre de nouvelles méthodes culturales et techniques d'irrigation, a amené un million d'agriculteurs à ramener de leur propre gré leur consommation d'eau souterraine à des niveaux viables⁷⁵.

Les barrages comptent parmi les moyens employés pour accroître les ressources en eau ; ils ne peuvent toutefois être qu'un élément de solution et devront être conçus compte tenu de la variabilité accrue du niveau des pluies. D'autres

ENCADRÉ 5 *Des approches prometteuses qui sont bonnes pour les agriculteurs et bonnes pour l'environnement*

Des pratiques prometteuses

Des pratiques culturales comme la culture sans travail du sol (c'est-à-dire par injection directe des semences dans le sol et non par ensemencement d'un champ labouré), conjuguées à la gestion des résidus et à un recours adéquat aux engrais, peuvent contribuer à préserver l'humidité des sols, maximiser l'infiltration d'eau, accroître le stockage de carbone, réduire au minimum les écoulements de nutriments et accroître les rendements. La culture sans travail du sol, qui est maintenant pratiquée sur environ 2 % de la totalité des superficies arables à l'échelle mondiale, devrait se répandre. Elle a été principalement adoptée dans les pays à revenu élevé, et elle se développe rapidement dans des pays comme l'Inde. En 2005, les agriculteurs pratiquant la culture de riz-blé dans la plaine Indo-Gangétique ont utilisé la technique de culture sans travail du sol sur 1,6 million d'hectares ; en 2008, dans deux États indiens (Haryana et Punjab), 20 à 25 % du blé était cultivé par une méthode de travail réduit du sol. Enfin, au Brésil, ces pratiques sont utilisées sur près de 45 % des terres arables.

Des technologies prometteuses

Les techniques utilisées dans le cadre d'une agriculture de précision dans le but

d'utiliser, de manière ciblée et au moment optimal, les quantités les plus faibles possibles d'eau et d'engrais pourraient aider les exploitations pratiquant une agriculture intensive à forts niveaux d'intrants dans les pays à revenu élevé, en Asie et en Amérique latine, à réduire les émissions et l'appauvrissement des sols en éléments nutritifs, et à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau. De nouvelles technologies limitent les émissions d'azote gazeux ; c'est le cas, notamment des technologies de libération lente d'azote grâce au placement en profondeur de supergranulés d'engrais ou de l'ajout d'inhibiteurs biologiques aux engrais. Le recours à des technologies de télédétection pour communiquer des informations précises sur l'humidité des sols et les besoins d'irrigation peut éviter une utilisation d'eau inutile. Certaines de ces technologies resteront sans doute trop onéreuses pour la plupart des agriculteurs des pays en développement (et nécessiteront peut-être l'instauration de mécanismes de paiement pour la conservation du carbone dans les sols ou la modification des tarifs de l'eau). D'autres, en revanche, comme l'emploi d'inhibiteurs biologiques, n'impliquent aucun travail supplémentaire et améliorent la productivité.

Les leçons du passé

Une autre méthode, basée sur une technologie utilisée par les populations autochtones de la forêt ombrophile amazonienne, pourrait permettre de piéger du carbone sur une très grande échelle tout en améliorant la productivité des sols. Le biochar est obtenu par la combustion de résidus agricoles humides ou de déchets animaux (biomasse) à faible température en l'absence pratiquement totale d'oxygène ; le produit de cette combustion est un solide assimilable à du charbon de bois ayant une très forte teneur en carbone. Il est très stable dans le sol, et piège le carbone qui, sinon, serait rejeté dans le cadre d'une simple combustion de la biomasse ou de sa décomposition. À l'échelle industrielle, le processus transforme la moitié du carbone en biocombustible et l'autre moitié en biochar. Selon de récentes analyses, il semblerait que le biochar puisse stocker le carbone pendant plusieurs siècles, voire même des millénaires ; de nouvelles études ont été entreprises pour vérifier cette propriété.

Sources : De la Torre, Fajnzylber et Nash 2008 ; Derpsch et Friedrich 2009 ; Erenstein 2009 ; Erenstein et Laxmi 2008 ; Lehmann 2007 ; Wardle, Nilsson et Zackrisson 2008.

méthodes, telles que le recyclage ou le dessalement de l'eau, peuvent être intéressantes, malgré leur coût, pour l'eau affectée à des usages à forte valeur ajoutée dans les zones côtières, surtout lorsque les installations sont alimentées au moyen d'énergies renouvelables (chapitre 3).

Il peut toutefois être difficile de modifier les pratiques et les technologies, en particulier dans des zones pauvres, rurales et isolées où, pour instaurer de nouvelles pratiques, il faut travailler avec un grand nombre d'intervenants qui ne veulent surtout pas prendre de risques, qui vivent dans des régions peu fréquentées et qui sont confrontés à des incitations et à des obstacles différents. Les organismes de vulgarisation ne disposent généralement que de ressources limitées pour appuyer les agriculteurs et ils emploient des ingénieurs et des agronomes plutôt que des spécialistes de la communication. Pour tirer parti des technologies émergentes, il sera nécessaire de donner aussi aux communautés rurales une instruction technique plus poussée.

Pour transformer les processus de prise de décision : Formuler des politiques plus flexibles face à un environnement plus complexe et plus risqué Le changement climatique a essentiellement enterré l'idée que les systèmes naturels sont stationnaires ; or c'est sur cette base que pendant longtemps, les infrastructures ont été conçues et planifiées, les tarifs des assurances ont été établis et de nombreuses décisions privées – qui vont des dates des plantations et des récoltes au choix des sites des usines et à la conception des bâtiments – ont été prises dans l'idée que les systèmes naturels sont stationnaires, c'est-à-dire qu'ils fluctuent à l'intérieur d'enveloppes de variabilité immuables. Le changement climatique a enterré cette idée⁷⁶. Les décideurs doivent maintenant prendre en compte le fait que le changement climatique aggrave encore les incertitudes auxquelles ils sont déjà confrontés. Davantage de décisions devront être prises dans un contexte caractérisé par des changements d'orientation et une variabilité accrue, sans mentionner l'imposition d'éventuelles normes d'émissions de carbone.

Les démarches mises au point et suivies par des organismes publics et privés, des villes et des pays du monde entier, de l'Australie au Royaume-Uni, montrent qu'il est possible d'accroître la résistance, même en l'absence de modèles coûteux et complexes de l'évolution future du climat⁷⁷. À l'évidence, il est toujours souhaitable de pouvoir agir sur la base de meilleures projections et d'une moindre incertitude, mais les nouvelles démarches mettent essentiellement l'accent sur des stratégies qui sont « robustes » pour toute une gamme d'éventualités et ne sont pas simplement optimales pour une série d'hypothèses particulières (encadré 6)⁷⁸. Une stratégie robuste peut être aussi simple que le

choix de variétés de semences qui donnent de bons résultats dans différentes conditions climatiques.

Les stratégies robustes donnent généralement lieu à la constitution de capacités de riposte souples, diversifiées et redondantes (chapitre 2). Elles privilégient les actions « sans regrets » (une consommation rationnelle d'eau et d'énergie, par exemple) qui procurent des avantages même sans changement climatique. Elles privilégient également des options réversibles et souples pour maintenir au niveau le plus bas possible le coût d'une décision malencontreuse (il est facile d'assouplir des servitudes d'utilité publique instituées dans les zones côtières tandis qu'il peut être difficile et coûteux

ENCADRÉ 6 *Appel à l'ingéniosité : de nouveaux outils et de nouvelles connaissances seront nécessaires à l'adaptation*

Quels que soient les efforts d'atténuation déployés, l'humanité devra s'adapter à de fortes modifications du climat — partout sur la planète et dans un grand nombre de domaines différents.

Capital naturel

Il faudra disposer d'une large gamme de biens naturels pour pouvoir faire face au changement climatique et poursuivre des activités agricoles, forestières et piscicoles productives. Par exemple, il sera nécessaire d'avoir des variétés culturales qui donnent de bons résultats en situation de sécheresse, dans des climats chauds et dans une atmosphère ayant une plus forte teneur en CO₂. Toutefois, les processus employés par le secteur privé et les agriculteurs pour choisir les cultures privilégient des variétés homogènes adaptées aux conditions passées ou présentes, au détriment de variétés capables de produire des rendements systématiquement élevés dans des conditions caractérisées par des températures plus chaudes et une plus grande humidité ou sécheresse. Il sera nécessaire de poursuivre des programmes de reproduction accélérée pour conserver un pool plus vaste de ressources génétiques constituées par les plantes et les races existantes et leurs contreparties sauvages. Des écosystèmes relativement intacts, telles que les bassins versants boisés, les mangroves et les terres humides peuvent amortir l'impact du changement climatique. Lorsque le climat change, ces écosystèmes sont eux-mêmes exposés à des risques, de sorte qu'il faut les gérer de

manière plus dynamique et adaptative. Il peut être nécessaire de créer des voies de raccordement entre les zones naturelles, par exemple des couloirs de migration, pour faciliter le déplacement des espèces induit par l'évolution du climat.

Capital physique

Le changement climatique aura probablement des effets sur l'infrastructure, qui sont difficiles à prévoir et qui seront très différents d'un endroit à un autre. Par exemple, l'infrastructure dans les zones à très basse altitude est menacée par les débordements des rivières et l'élévation du niveau de la mer ; c'est aussi bien le cas dans la baie de Tanger qu'à New York ou à Shanghai. Les vagues de chaleur ramollissent l'asphalte et peuvent forcer la fermeture de routes ; elles ont un impact sur la capacité des lignes de transport d'électricité et réchauffent l'eau nécessaire au refroidissement des centrales thermiques et nucléaires alors même qu'elles accroissent la demande d'électricité. Les incertitudes ainsi créées influenceront donc probablement non seulement les décisions d'investissement mais aussi la conception des infrastructures qui devront être robustes dans le contexte des futures modifications du climat. Les incertitudes qui entachent également la fiabilité de l'approvisionnement en eau motivent à la fois la formulation de stratégies de gestion intégrée et l'amélioration de technologies liées à l'eau pour assurer une protection contre le changement climatique. Il sera aussi nécessaire d'accroître la somme des

connaissances techniques et des capacités d'ingénierie pour concevoir l'infrastructure de l'avenir compte tenu de la dimension climatique.

Santé humaine

De nombreuses adaptations des systèmes de santé au changement climatique donneront lieu initialement à l'adoption de solutions pratiques fondées sur les connaissances actuelles. D'autres, en revanche, exigeront de nouvelles compétences. Les progrès réalisés dans le domaine de la génomique permettent de concevoir de nouveaux outils de diagnostics qui peuvent dépister de nouvelles maladies infectieuses. Ces instruments, conjugués aux progrès des technologies des communications, peuvent détecter les tendances sanitaires émergentes et fournir aux praticiens la possibilité d'intervenir rapidement. Les innovations réalisées dans un certain nombre de domaines technologiques transforment déjà la médecine. Par exemple l'apparition d'outils de diagnostic portatifs et la possibilité de tenir des consultations en vidéo élargissent les possibilités offertes par la télémédecine et permettent aux communautés isolées de se connecter plus facilement à l'infrastructure sanitaire mondiale.

Source : Burke, Lobell, et Guarino 2009 ; Ebi et Burton 2008 ; Falloon et Betts, à paraître ; Guthrie, Juma et Sillem 2008 ; Keim 2008 ; Koetse et Rietveld 2009 ; National Academy of Engineering 2008 ; Snoussi *et al.* 2009.

de forcer des occupants à partir ou de renforcer les mesures de protection). Elles prévoient des marges de sécurité pour renforcer la résistance (en acceptant le coût marginal de la construction d'un pont plus élevé ou d'un pont capable de résister aux inondations, ou bien en étendant la couverture de filets de protection sociale à des groupes vulnérables). Elles s'appuient également sur une planification à long terme basée sur une analyse de scénarios et l'évaluation de stratégies dans le contexte d'une large gamme de conditions futures⁷⁹. Il sera essentiel de concevoir et d'exécuter ces stratégies de manière participative afin de pouvoir bénéficier du savoir local sur les vulnérabilités existantes et de promouvoir l'adhésion des bénéficiaires aux stratégies retenues.

Le processus de formulation des politiques d'adaptation doit être, lui-même, adaptable, et les mesures prises doivent faire l'objet d'examen périodiques sur la base d'informations dont la collecte et le suivi sont, de plus en plus souvent, réalisables à faible coût grâce à l'amélioration des technologies. Par exemple, l'un des grands problèmes qui se pose dans le cadre de la gestion des ressources en eau tient à l'absence d'informations sur les eaux souterraines ou sur la consommation des différents utilisateurs de ces ressources. Grâce aux nouvelles technologies de télédétection, il est possible de déduire les volumes d'eau souterraine utilisés, d'identifier les exploitants qui utilisent l'eau de manière peu productive et de déterminer précisément à quel moment il faut irriguer davantage ou réduire les quantités d'eau utilisées pour maximiser la productivité sans compromettre les rendements des cultures (chapitre 3).

Pour passer à l'acte : de nouvelles pressions, de nouveaux instruments et de nouvelles ressources

Les pages précédentes décrivent les nombreuses mesures à prendre pour gérer le défi que pose le changement climatique. Nombre d'entre elles sont les prescriptions types d'un manuel pédagogique sur le développement des sciences environnementales : améliorer la gestion des ressources en eau, rationaliser l'utilisation d'énergie, promouvoir des pratiques agricoles durables, éliminer les subventions aux effets pervers. Elles n'ont toutefois guère été appliquées dans le passé ; il faut donc créer un contexte permettant de procéder aux réformes nécessaires et changer les comportements. Pour cela, il faut à la fois exercer de nouvelles pressions, employer de nouveaux instruments et disposer de nouvelles ressources.

Les nouvelles pressions tiennent à la prise de conscience croissante du changement climatique, et de ses coûts actuels et futurs. Sensibilisation n'est toutefois pas synonyme d'action : pour porter ses fruits, une politique de développement intelligente sur le plan climatique doit s'attaquer à l'inertie qui caractérise le comportement des particuliers et des organisations. La perception nationale du changement climatique déterminera également la réussite de tout programme

mondial – son adoption mais aussi son exécution. Et si nombre des réponses à la problématique du climat et du développement doivent être apportées au niveau national, voire même local, un programme mondial doit être établi afin de générer de nouveaux instruments et de nouvelles ressources permettant de passer à l'action (chapitre 5). Par conséquent, si les pressions doivent s'exercer initialement au niveau national, dans le but de changer les comportements et de faire évoluer l'opinion publique, l'action menée doit être validée par un accord international efficace et rationnel, qui prend en compte les réalités du développement.

Des pressions nouvelles : le succès des efforts entrepris est tributaire de la modification des comportements et de l'évolution de l'opinion publique

Les régimes internationaux influencent les politiques des États mais ils sont, eux-mêmes, la résultante de facteurs nationaux. Les normes politiques, les structures de gouvernance et les groupes d'intérêts régissent l'intégration du droit international dans les politiques intérieures, tout en influant sur le régime international⁸⁰. De surcroît, en l'absence d'un mécanisme d'application mondial, les incitations à honorer les engagements internationaux ont une origine nationale.

Pour porter ses fruits, une politique de développement intelligente sur le plan climatique doit prendre en compte ces déterminants locaux. Les politiques d'atténuation que suivra un pays dépendent de facteurs intérieurs, tels que les différents types d'énergie utilisés par le pays, leurs sources actuelles et potentielles et la préférence nationale pour des politiques étatiques ou une action guidée par le marché. Pour générer un appui suffisant, il sera essentiel que ces politiques ou actions aient des avantages supplémentaires à l'échelon local – par exemple un air plus pur, des transferts de technologie ou la sécurité énergétique.

Des politiques intelligentes sur le plan climatique doivent également s'attaquer à l'inertie qui caractérise le comportement des individus et celui des organisations. Pour sevrer les économies modernes des combustibles fossiles et accroître leur résistance au changement climatique, il faudra que l'état d'esprit des consommateurs, des chefs d'entreprise et des décideurs se modifie. Pour relever le défi que pose le changement de comportements invétérés, il faudra mettre particulièrement l'accent sur des politiques et des interventions qui sortent du cadre du marché.

Dans le monde entier, les programmes de gestion des risques de catastrophes visent avant tout à modifier la perception qu'ont les communautés des risques. Le plan d'action « London Warming » établi par la Ville de Londres pour faire face aux effets du réchauffement des températures s'articule autour de programmes de communication et d'éducation ciblés. Aux États-Unis, certaines compagnies de distribution d'énergie se servent des normes sociales et des

pressions communautaires pour promouvoir une réduction de la demande : il suffit de montrer aux ménages comment se situe leur consommation par rapport à celles des autres et de les féliciter lorsque leur consommation est inférieure à la moyenne pour obtenir une réduction de la consommation d'énergie (chapitre 8).

Pour relever le défi climatique, il sera aussi nécessaire de modifier la manière dont les pouvoirs publics opèrent. La politique climatique est liée à la mission de nombreux organismes publics, mais elle n'est contrôlée par aucun d'entre eux. Un grand nombre des mesures requises aux fins de l'atténuation et de l'adaptation, doivent être prises dans une perspective à long terme, qui se prolonge bien au-delà de l'horizon des élus. De nombreux pays, dont le Brésil, la Chine, l'Inde, le Mexique et le Royaume-Uni se sont dotés, chacun, d'un organisme chef de file pour traiter des questions climatiques, ils ont établi des organes de coordination de haut niveau, et ils ont amélioré l'utilisation des informations scientifiques dans le cadre de la formulation de l'action publique (chapitre 8).

Les villes, les provinces et les régions forment des espaces politiques et administratifs plus proches des sources d'émissions et des impacts du changement climatique. Outre la mise en œuvre et la formulation des politiques et réglementations nationales, elles assurent des fonctions de décision, de réglementation et de planification dans des secteurs

essentiels aux activités d'atténuation (transports, construction, services publics, sensibilisation au niveau local) et d'adaptation (protection sociale, réduction des risques de catastrophes, gestion des ressources naturelles). Parce qu'elles sont plus proche des citoyens, ces administrations peuvent sensibiliser le public et mobiliser des intervenants privés⁸¹. Comme elles se trouvent, de surcroît, au point de rencontre de l'État et du public, c'est à leur niveau que les pouvoirs publics sont mis en demeure de dûment s'acquitter de leurs responsabilités en fournissant une riposte adaptée. Ceci explique pourquoi de nombreuses administrations locales ont entrepris une action climatique avant les administrations nationales (encadré 7).

De nouveaux instruments et de nouvelles ressources : le rôle d'un accord mondial

Il ne sera pas possible de prendre des mesures rapides et de portée globale sans coopération internationale ; or, celle-ci ne se matérialisera pas sans une entente internationale jugée équitable par toutes les parties – les pays à revenu élevé, qui doivent déployer les efforts les plus immédiats et les plus draconiens ; les pays à revenu intermédiaire, où des efforts importants d'atténuation et d'adaptation doivent être menés ; et les pays à faible revenu qui ont besoin en priorité d'une assistance technique et financière pour faire face à leur vulnérabilité en la situation climatique actuelle

ENCADRÉ 7 *Les villes réduisent leur empreinte carbone*

Le mouvement des villes pour un bilan carbone neutre montre comment les administrations locales prennent des mesures même en l'absence d'engagements internationaux ou de strictes politiques nationales. Aux États-Unis, qui n'ont pas ratifié le Protocole de Kyoto, près d'un millier de villes sont convenues de s'efforcer d'atteindre les objectifs du Protocole dans le cadre de l'accord des Maires pour la protection climatique. À Rizhao, ville du nord de la Chine qui compte 3 millions d'habitants, la municipalité a utilisé conjointement des incitations et des moyens législatifs pour encourager une utilisation rationnelle de l'énergie renouvelable sur une grande échelle. Les gratte-ciel sont construits de manière à fonctionner à l'énergie solaire, et 99 % des ménages de Rizhao utilisent des appareils de chauffage solaire. La quasi-totalité des feux de signalisation, de l'éclairage des rues et des parcs sont alimentés par

des modules photovoltaïques. Au total, la ville compte plus de 500 000 m² de panneaux solaires qui servent à chauffer l'eau et qui fournissent l'équivalent de la consommation d'environ 0,5 MW par des chauffe-eau électriques. Grâce à ces efforts, la consommation d'énergie a diminué de près d'un tiers et les émissions de CO₂ de moitié.

Les exemples de villes cherchant à établir un bilan carbone neutre se multiplient bien au-delà de la Chine. En 2008, Sydney est devenue la première ville australienne à afficher un bilan carbone neutre, grâce à des mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie, à la consommation d'énergies renouvelables et à des mesures de compensation des émissions de carbone. Copenhague a l'intention de réduire à zéro ses émissions de carbone d'ici 2025. Elle prévoit à cette fin d'investir dans l'énergie éolienne et d'encourager l'utilisation de voitures électriques ou à hydrogène en permettant à leurs conducteurs de

se garer et de recharger leurs batteries gratuitement. Plus de 700 administrations municipales et locales du monde entier participent à la « Campagne des villes pour la protection du climat » qui encourage l'adoption de programmes et la mise en œuvre de mesures quantifiables afin de réduire les émissions locales de gaz à effet de serre (<http://www.iclei.org>). Avec d'autres associations d'administrations locales, comme le C40 Groupe des grandes villes pour le climat et le Conseil mondial des maires sur le changement climatique, elles ont lancé un processus qui vise à habiliter les villes et les administrations municipales et locales et à leur permettre de travailler dans le contexte de la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique.

Source : Bai 2006 ; Banque mondiale 2009d ; C40 Cities Climate Leadership Group (<http://www.c40cities.org>), consulté le 1^{er} août 2009).

et, a fortiori, face à l'évolution à venir du climat. Cette entente doit également permettre d'atteindre les objectifs climatiques, en prenant en compte les leçons tirées d'autres accords internationaux ainsi que des succès remportés ou des échecs essuyés dans le cadre de transferts internationaux de ressources à grande échelle. Enfin, elle doit être efficace, ce qui implique l'existence de financements d'un volume suffisant et d'instruments financiers qui dissocient le lieu des efforts d'atténuation des sources de financement de ces efforts — de manière à atténuer le changement climatique au moindre coût.

Un accord équitable Il ne sera possible d'obtenir une coopération internationale à l'échelle requise pour faire face au changement climatique que si celle-ci repose sur un accord international qui prend en compte les besoins des pays en développement et les obstacles auxquels ils se heurtent, que s'il y a moyen de dissocier le site des mesures d'atténuation des sources de financement qui supportent la charge de cet effort, et que si des instruments financiers sont créés afin d'encourager et de faciliter l'atténuation même dans les pays qui sont riches en charbon mais pauvres en revenus ou dans les pays qui n'ont guère, sinon pas du tout, contribué jusqu'à présent au changement climatique. La décision de ces pays de saisir l'opportunité de se placer sur une trajectoire de développement plus durable dépendra en grande partie de l'appui financier et technique qu'ils pourront mobiliser auprès des pays à revenu élevé.

La coopération mondiale ne se limite toutefois pas aux seules contributions financières. L'économie comportementale et la psychologie sociale montrent que les individus rejettent souvent des offres qu'ils estiment injustes envers eux même alors même qu'elles sont avantageuses⁸². Le fait qu'il soit dans l'intérêt de tous de collaborer n'est donc pas une garantie de succès. Certains pays en développement craignent qu'un mouvement en faveur de l'intégration de la question climatique dans le développement fasse retomber la responsabilité de l'atténuation sur le monde en développement.

Inscrire un principe d'équité dans un accord mondial contribuerait largement à dissiper ces craintes et à créer un climat de confiance (chapitre 5). L'adoption d'un objectif représenté par une bande vers laquelle devraient converger à long terme les émissions par habitant pourrait permettre d'éviter qu'un pays quelconque ne soit forcé d'assumer une part inégale de la responsabilité du patrimoine atmosphérique commun. L'Inde a récemment indiqué que ses émissions ne dépasseraient jamais le niveau moyen par habitant des émissions des pays à revenu élevé⁸³. Il est donc essentiel que ces derniers prennent des mesures radicales pour ramener leur empreinte carbone à des niveaux tolérables. Ils feraient ainsi preuve de leadership, leur action encouragerait l'innovation et elle permettrait à tous les pays de se placer sur une trajectoire de croissance sobre en carbone.

Les pays en développement sont également très soucieux d'avoir accès aux technologies. L'innovation dans les technologies axées sur le climat reste essentiellement le fait des pays à revenu élevé, bien que les pays en développement commencent à jouer un rôle plus important en ce domaine (la Chine arrive en septième position au classement des pays par nombre total de brevets déposés concernant des énergies renouvelables⁸⁴, et une société indienne est maintenant le principal fabricant d'automobiles électriques⁸⁵). De surcroît, les pays en développement — du moins les plus petits ou les plus pauvres — peuvent avoir besoin d'une assistance pour produire de nouvelles technologies ou adapter ces dernières à leur situation. Cela pose des problèmes particuliers pour l'adaptation qui nécessite des technologies applicables au contexte local.

Les transferts internationaux de technologies propres restent à ce jour limités. Ils ne se sont matérialisés que pour environ un tiers des projets financés par le biais du Mécanisme pour un développement propre (MDP) qui est le principal instrument de financement des investissements dans des technologies à faible teneur en carbone dans les pays en développement⁸⁶. Le Fonds pour l'environnement mondial qui, depuis sa création, alloue environ 160 millions de dollars par an à des programmes d'atténuation du changement climatique⁸⁷ finance des évaluations des besoins technologiques dans 130 pays. Un montant de l'ordre de 5 milliards de dollars a récemment été engagé au titre du nouveau Fonds pour les technologies propres (FTP) afin d'aider les pays en développement en appuyant des investissements importants et risqués faisant intervenir des technologies propres ; les opinions diffèrent toutefois sur ce qui constitue une technologie propre.

Intégrer des accords sur les technologies dans un accord climatique mondial pourrait donner une impulsion à l'innovation et assurer l'accès des pays en développement aux technologies. La production et le partage de technologies intelligentes sur le plan climatique ne pourront se concrétiser que dans le cadre d'une collaboration internationale. Sur le plan de la production, des accords de partage des coûts devront être conclus pour les technologies de grande envergure et très risquées comme celles qui concernent le piégeage et le stockage de carbone (chapitre 7). Les accords internationaux sur les normes créent des débouchés pour l'innovation. Par ailleurs, un appui international aux transferts de technologie peut se faire dans le cadre de systèmes de production conjointe ou de partages de technologies — ou sous forme d'un soutien financier au titre du surcoût engendré par l'adoption d'une nouvelle technologie plus propre (comme cela a été fait par le biais du Fonds multilatéral pour l'application du protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone).

Il faudra également que l'accord mondial soit acceptable aux pays à revenu élevé. Ceux-ci sont préoccupés par les

exigences financières auxquelles ils pourraient être exposés et veulent s'assurer que les transferts de fonds produisent les résultats souhaités au plan de l'adaptation et de l'atténuation. Ils craignent également qu'une démarche par étapes permettant aux pays en développement de retarder l'adoption de mesures pourrait nuire à leur propre compétitivité par rapport aux pays à revenu intermédiaire les plus avancés.

Un accord efficace : les leçons tirées de l'expérience de l'aide au développement et des accords internationaux Un accord climatique efficace doit permettre d'atteindre les objectifs convenus dans les domaines de l'atténuation et de l'adaptation. Sa conception se doit de tirer les leçons de l'expérience de l'aide et des accords internationaux. Le financement de l'action climatique n'est pas le financement de l'aide, mais l'expérience en ce dernier domaine est source de précieux enseignements. En particulier, il est maintenant évident que les engagements pris sont rarement respectés s'ils ne cadrent pas avec les objectifs nationaux – on retrouve ici le débat entre conditionnalité et adhésion. Il s'ensuit que le financement de l'adaptation et de l'atténuation devra être organisé sur la base d'un processus qui encourage le développement et l'adhésion du pays bénéficiaire à un programme de développement sobre en carbone. On a pu également constater, dans le cadre des opérations d'aide, qu'une multiplicité de sources de financement fait assumer un coût de transaction considérable aux pays bénéficiaires et réduit l'efficacité de l'aide. Et même si les fonds proviennent de sources distinctes, les dépenses financées par les ressources au titre de l'adaptation et de l'atténuation doivent être pleinement intégrées dans les efforts de développement.

On a également pu constater, dans le cadre des accords internationaux, que des approches différenciées peuvent être un moyen adéquat de réunir des partenaires extrêmement différents dans le cadre d'un unique programme. Le cas de l'Organisation mondiale du commerce en est un exemple : l'application d'un traitement spécial et différencié aux pays en développement a été l'une des principales caractéristiques du système commercial multilatéral pendant la majeure partie de la période de l'après-guerre. Des propositions sont faites dans le contexte des négociations climatiques qui s'inscrivent dans le cadre à plusieurs vitesses présenté dans le Plan d'action de Bali de la CCNUCC⁸⁸. Aux termes de ces propositions, les pays développés devraient s'engager à atteindre des objectifs de résultat, les « résultats » dans ce contexte étant les émissions de gaz à effet de serre, tandis que les pays en développement s'engageraient à réorienter leur action plutôt qu'à atteindre des objectifs d'émission spécifiques.

Cette approche est attrayante pour trois raisons. Premièrement, elle peut promouvoir des opportunités d'atténuation qui présentent aussi des avantages au plan du développement. Deuxièmement, elle est bien adaptée aux

pays en développement où une forte croissance démographique et économique entraîne une expansion rapide du stock de capital (et, par conséquent, crée des opportunités de verrouillage positif ou négatif) qui rend encore plus impérieuse la nécessité de recadrer les systèmes énergétiques, urbains et de transports sur une trajectoire à moindre intensité de carbone. Un engagement sur les grandes orientations peut également fournir un cadre adapté aux pays où une grande partie des émissions sont difficiles à mesurer parce qu'elles sont dues à l'affectation des terres, à la modification de ces modes d'affectation et à la foresterie. Troisièmement, il est moins probable qu'elle exige le suivi de flux complexes – une gageure dans bien des pays. Il sera néanmoins crucial de procéder à un suivi et à une évaluation générale de ces approches, ne serait-ce que pour déterminer leur efficacité⁸⁹.

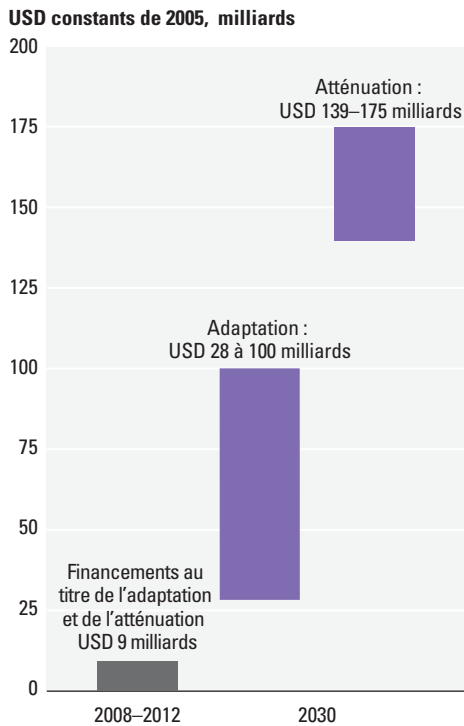
Un accord rationnel : le rôle du financement des actions climatiques

Le financement de l'action climatique peut permettre de concilier les objectifs d'équité et de rationalité en dissociant le lieu où sont menées des actions climatiques de la source de leur financement. L'apport de fonds suffisants aux pays en développement – associé à des efforts de renforcement des capacités et à un accès aux technologies – peut appuyer une croissance et un développement à faible teneur en carbone. Si le financement des mesures d'atténuation cible les lieux où les coûts de ces mesures sont les plus faibles, l'action menée n'en sera que plus efficace. Si le financement de l'adaptation cible les lieux où les besoins sont les plus grands, bien des souffrances et des pertes inutiles pourront être évitées. Le financement de l'action climatique offre le moyen de réconcilier les objectifs d'équité, d'efficacité et de rationalité dans le cadre des efforts menés pour faire face au changement du climat.

Le volume actuel des financements de l'action climatique est toutefois très inférieur aux besoins prévisibles. Selon les estimations présentées au tableau 1, les coûts d'atténuation dans les pays en développement pourraient atteindre 140 à 175 milliards de dollars par an et les besoins de financement correspondants pourraient être de l'ordre de 265 à 565 milliards de dollars par an. Les flux de financement actuels, qui s'établissent en moyenne à 8 milliards de dollars par an environ jusqu'à 2012, sont loin du compte. Quand au montant estimé à 30 à 100 milliards de dollars qui pourrait être nécessaire chaque année pour financer l'adaptation dans les pays en développement, il est sans aucun rapport avec le montant maintenant disponible, qui est inférieur à un milliard par an (figure 10).

L'insuffisance du financement de l'action climatique est encore aggravée par les inefficacités notables qui caractérisent la manière dont les fonds sont générés et déployés. Les principaux problèmes sont la fragmentation des sources de financement, le coût élevé de la mise en œuvre de mécanismes du marché comme le Mécanisme pour un

Figure 10 L'écart est important : comparaison des estimations des surcoûts annuels de l'action climatique pour assurer une trajectoire à 2 °C par rapport aux ressources actuelles



Sources : Voir le tableau 1, page 9 et l'analyse présentée au chapitre 6.

Note : Les coûts d'atténuation et d'adaptation sont uniquement ceux des pays en développement. Les colonnes représentent les fourchettes des estimations des surcoûts des efforts d'atténuation et d'adaptation nécessaires pour assurer une trajectoire à 2 °C. Les besoins de financement des mesures d'atténuation associés aux surcoûts indiqués ici sont beaucoup plus élevés, puisqu'ils sont compris entre 265 et 565 milliards de dollars par an à l'horizon 2030.

développement propre, et les carences des instruments, de surcroît sources de distorsions, employés pour mobiliser des fonds d'adaptation.

Le chapitre 6 identifie près de 20 fonds bilatéraux et multilatéraux, opérationnels ou en projet, conçus pour faire face au changement climatique. Cette fragmentation a un coût, identifié dans la Déclaration de Paris sur l'efficacité de l'aide : chaque fonds à sa propre gouvernance, et engendre des coûts de transaction pour les pays en développement ; et l'alignement de l'action sur les objectifs de développement nationaux peut être compromis par des sources de financement étroites. D'autres préceptes de la Déclaration de Paris, notamment l'appropriation par les pays recevant l'aide des stratégies suivies, l'harmonisation des procédures des bailleurs de fonds et la responsabilité mutuelle, sont également compromis lorsque le financement est très fragmenté. Le regroupement, à terme, des ressources dans un plus petit nombre de fonds s'impose manifestement.

À terme, la tarification du carbone (par le prélèvement d'une taxe ou par la mise en place d'un mécanisme de

plafonnement et d'échange) sera le moyen optimal de dégager des ressources sur le marché du carbone et de cibler ces ressources sur des actions efficaces. Dans un proche avenir, toutefois, le MDP et d'autres mécanismes basés sur les résultats donnés par les contreparties de la fixation du carbone resteront probablement les principaux instruments du marché utilisés pour financer l'action d'atténuation dans les pays en développement, et ils joueront donc un rôle crucial en apportant un complément aux transferts directs en provenance des pays à revenu élevé.

Le MDP a dépassé les attentes à bien des égards : il s'est développé rapidement et il a permis de stimuler l'acquisition de connaissances, de faire prendre conscience des options d'atténuation et de renforcer les capacités. Il a toutefois aussi de nombreux points faibles ; par exemple, il n'apporte aucun avantage connexe au plan du développement, et l'on peut douter de l'additionalité de ses ressources (le MDP génère des crédits carbone au titre de réductions d'émissions par rapport à une norme de référence ; le choix de la référence est inévitablement contestable), sa gouvernance est insuffisante, son fonctionnement inefficace et son champ d'application limité (il ne couvre pas des secteurs essentiels tels que les transports) ; enfin le maintien du marché au-delà de 2012 n'est pas assuré⁹⁰. Pour mener des actions climatiques efficaces, il est également important de comprendre que les transactions du MDP ne réduisent pas les émissions totales de carbone au-delà des engagements pris – elles ne font que modifier le lieu où elles se produisent (c'est-à-dire dans les pays en développement plutôt que dans les pays développés) et permettent de réduire le coût de l'atténuation (et partant d'accroître l'efficacité de l'action menée).

Le Fonds d'adaptation créé en application du Protocole de Kyoto a recours à un instrument de financement novateur sous forme d'une taxe de 2 % sur les réductions d'émissions certifiées (unités de réduction d'émissions générées par le MDP). Cette taxe permet manifestement de mobiliser des financements qui viennent s'ajouter à ceux d'autres sources mais, comme indiqué au chapitre 6, elle présente néanmoins certains inconvénients. Elle frappe un bien (le financement de l'atténuation) et non un mal (les émissions de carbone) et, à l'instar de toute taxe, elle est inévitablement inefficace à certains égards (perte de bien-être collectif). L'analyse du marché du MDP montre que la majeure partie de la réduction des gains pouvant être tirés des échanges sur ce marché par suite de l'imposition de la taxe sera assumée par les fournisseurs de crédits d'émissions de carbone des pays en développement⁹¹. Le financement de l'adaptation devra également s'effectuer par le biais d'un mécanisme d'allocation qui, de manière idéale, appliquerait les principes de transparence, d'efficacité et d'équité – des méthodes efficaces permettraient de financer directement les pays les plus vulnérables et ceux qui ont les capacités les plus importantes de gérer l'adaptation, tandis qu'une importance particulière

serait accordée aux pays les plus pauvres pour des motifs d'équité.

Pour renforcer et développer le régime du financement climatique, il faudra modifier les instruments existants et trouver de nouvelles sources de fonds (chapitre 6). La réforme du MDP revêt donc une importance particulière puisque celui-ci contribue à générer des financements sur le marché du carbone au titre de projets dans des pays en développement. Une première série de propositions vise à réduire les coûts en rationalisant le processus d'approbation des projets, notamment en renforçant les fonctions d'examen et d'administration. Une deuxième série, importante, de propositions vise à permettre au MDP d'appuyer les réorientations des politiques et des programmes et non plus uniquement des projets. Le mécanisme des « cibles sectorielles sans pénalisation » est un exemple de mécanisme basé sur les résultats dans le cadre duquel des réductions avérées des émissions de carbone dans un secteur ayant pour effet d'abaisser les niveaux d'émissions en dessous d'un seuil de référence convenu pourrait être récompensées par la cession de crédits carbone, sans que des pénalités soient imposées si les réductions proposées ne se matérialisaient pas.

La foresterie est un autre domaine dans lequel le financement climatique peut réduire les émissions (encadré 8). Il est probable que d'autres mécanismes de tarification du carbone forestier seront élaborés dans le cadre des négociations climatiques en cours. Déjà, plusieurs initiatives, parmi lesquelles le Fonds de partenariat pour la réduction des émissions due à la déforestation, examinent la possibilité de freiner le déboisement dans les pays en développement par le biais d'incitations financières, de manière à réduire les émissions de carbone. Les principaux défis posés par cette approche sont, notamment, la formulation de stratégies nationales et la mise en œuvre de cadres de réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des terres ; la formulation d'un scénario de référence pour les émissions ; et la conception d'un système de suivi, de présentation de rapport et de vérification.

Les efforts déployés pour réduire les émissions de carbone du sol (par le biais d'encouragements à modifier les pratiques de labour, par exemple) pourraient également faire l'objet d'incitations financières ; ces efforts sont essentiels si l'on veut éviter que les espaces naturels ne soient convertis en aires de production de denrées alimentaires et de biocombustibles. La méthodologie est toutefois moins avancée que celle qui s'applique aux émissions dues à la déforestation et il faudra résoudre les problèmes fondamentaux associés au suivi (encadré 8). Il importe de concevoir rapidement des programmes pilotes pour encourager une agriculture plus résistante et durable et faire bénéficier de plus de ressources et d'innovations un secteur qui en a été privé au cours des dernières décennies⁹².

Au niveau national, le secteur public jouera un rôle crucial en offrant des incitations à une action climatique (sous forme de subventions, de taxes, de plafonnements ou de réglementations), en fournissant des informations et des formations, et en éliminant les défaillances du marché qui empêchent de passer à l'action. Toutefois, l'essentiel des financements devra provenir du secteur privé, en particulier pour les efforts d'adaptation. Il sera essentiel que les prestataires de services d'infrastructures puissent opérer dans le cadre d'un régime réglementaire souple, qui leur fournit les incitations requises pour procéder à des investissements et à des opérations à l'épreuve du changement climatique. Et s'il est possible de mobiliser des capitaux privés au titre d'investissements spécifiques à des fins d'adaptation (par exemple, pour ériger des protections contre les crues), il est probable, si l'on considère l'expérience acquise dans le cadre des partenariats public-privé dans le domaine des infrastructures dans les pays en développement, que la portée de ces interventions restera faible.

Mobiliser des financements additionnels à des fins d'adaptation est une priorité essentielle ; des mécanismes novateurs tels que la vente aux enchères d'unités de quantité attribuées (UQA, plafonds contraignants que les pays acceptent dans le cadre de la CCNUCC), l'imposition des émissions des transports internationaux, et taxe carbone mondiale pourraient permettre de générer des dizaines de milliards de dollars d'argent frais chaque année. La mise en place d'une tarification rationnelle du carbone, que ce soit par le biais d'une taxe ou d'un mécanisme de plafonnements et d'échanges, modifiera totalement la donne. Une fois ce système établi, le secteur privé fournira l'essentiel des financements nécessaires, car les investisseurs comme les consommateurs prendront leurs décisions compte tenu du prix du carbone. Toutefois, les taxes ou les marchés du carbone nationaux ne généreront pas nécessairement les flux de capitaux nécessaires à destination des pays en développement. Pour que la solution apportée au problème climatique soit équitable, il faudra qu'un MDP réaménagé et d'autres mécanismes basés sur les résultats, l'établissement de liens entre les marchés nationaux du carbone, l'allocation et la vente d'UQA et les transferts budgétaires soient autant de moyens de procurer des financements aux pays en développement.

Alors même que ce rapport part à l'impression, les pays participent à des négociations sur un accord climatique mondial sous les auspices de la CCNUCC. Un grand nombre de ces pays sont également en proie à l'une des plus graves crises financières des dernières décennies. Étant donné les difficultés financières et les besoins criants qui existent, il pourrait être difficile d'obtenir de leurs organes législatifs qu'ils acceptent de dépenser des ressources au titre d'une menace qui est, à tort, jugée lointaine.

ENCADRÉ 8 Le rôle de l'affectation des terres, de l'agriculture et de la foresterie dans la gestion du changement climatique

L'affectation des terres, l'agriculture et la foresterie offrent d'importantes possibilités d'atténuation et se sont révélées être sources de controverses dans le cadre des négociations climatiques. Sera-t-il possible de mesurer les quantités de carbone fixées et émises avec suffisamment de précision ? Quelles mesures peut-on prendre face aux fluctuations naturelles de la croissance et aux pertes causées par des incendies associés au changement climatique ? Les pays peuvent-ils obtenir des crédits au titre de décisions prise des dizaines d'années, voire des siècles avant les négociations climatiques ? Les crédits générés par les activités terrestres satureront-ils le marché du carbone et feront-ils baisser le prix du carbone et, ce faisant, réduiront-ils les incitations à la poursuite de mesures d'atténuation ? Des progrès ont été accomplis à un grand nombre de ces égards et le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a formulé des directives pour la mesure des gaz à effet de serre provenant de la terre. Les opérations de déboisement, à l'échelle mondiale, ont couvert des superficies nettes de l'ordre de 7,3 millions d'hectares par an en moyenne sur la période 2000 - 2005, et elles ont produit environ 5,0 gigatonnes de CO₂ par an sous forme d'émissions, ce qui représente à peu près le quart du volume des réductions d'émissions nécessaires. Il serait possible de réduire les émissions de 0,9 gigatonne en procédant à des activités de reboisement et à l'amélioration de la gestion forestière dans les pays en développement. Toutefois, ni l'amélioration de la gestion forestière ni la réduction des activités de déboisement dans les pays en développement ne sont actuellement couvertes par le Mécanisme pour un développement propre de la CCNUCC.

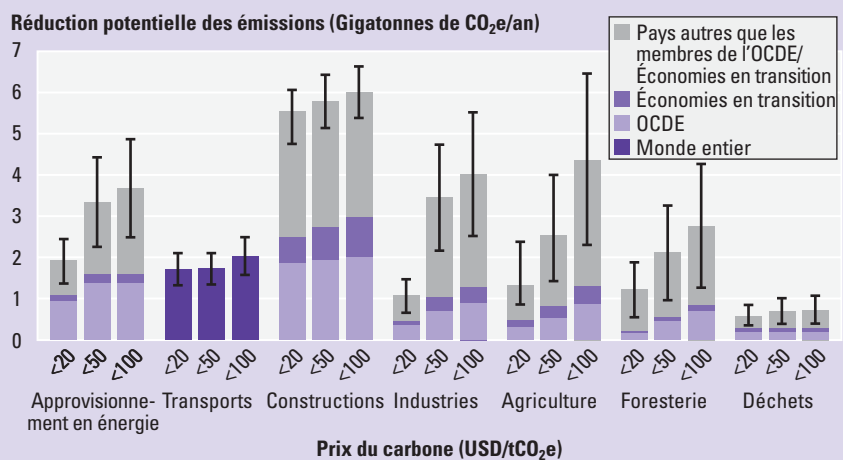
La création d'un mécanisme de paiement des efforts d'amélioration de la gestion du carbone du sol et d'autres gaz à effet de serre émis par l'agriculture suscite également de l'intérêt. Sur le plan technique, il serait possible de réduire d'environ 6 gigatonnes les émissions de CO₂e en réduisant le travail du sol, en améliorant la gestion des terres humides, des rizières, des troupeaux de bétail et du fumier. Une réduction d'environ

1,5 gigatonne des émissions annuelles de l'agriculture pourrait être obtenue au prix de 20 dollars la tonne de CO₂e (figure). Les mesures d'atténuation dans la foresterie et dans l'agriculture auraient de nombreux avantages connexes. L'entretien des forêts permet de maintenir une plus grande diversité de moyens de subsistance, de protéger la biodiversité et d'assurer une protection en cas de phénomènes extrêmes tels qu'inondations et glissements de terrain. Le travail minimum des sols et l'amélioration de la gestion des engrais peuvent accroître la productivité. Enfin, les ressources générées pourraient être importantes – du moins pour les pays dotés de vastes forêts : si les marchés du carbone forestier arrivent à fonctionner à leur niveau potentiel, l'Indonésie pourrait gagner entre 400 millions et 2 milliards de dollars par an. Quant au carbone du sol, même en Afrique où les sols sont pauvres en carbone sur presque la moitié du continent, les quantités piégées pourraient atteindre entre 100 et 400 millions de tonnes de CO₂e par an. Au prix de 10 dollars la tonne, le piégeage du carbone générerait un montant similaire à celui de l'aide publique au développement actuellement accordée à l'Afrique.

Grâce, essentiellement, aux efforts des

nations en développement formant la Coalition for Rainforests, la comptabilisation de l'affectation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie a été remise à l'ordre du jour de la CCNUCC. Ces pays recherchent les opportunités de contribuer à la réduction d'émissions dans le cadre de responsabilités communes mais différenciées et de mobiliser des financements sur le marché du carbone pour mieux gérer leur système forestier. Les négociations relatives aux activités dites REDD (réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts) se poursuivent, mais de l'avis général, certains éléments de la REDD seront inclus dans un accord à Copenhague. Les initiatives concernant le carbone du sol ne sont pas aussi avancées. Si le piégeage du carbone dans le secteur agricole est une opération bon marché, simple sur le plan technique et une riposte efficace au changement climatique, la mise en place d'un marché à ce titre n'est pas une tâche aisée. Un projet pilote au Kenya (chapitre 3) et les transactions sur contreparties d'émissions de carbone au Chicago Climate Exchange témoignent néanmoins des opportunités qui existent. Trois démarches peuvent contribuer à promouvoir les activités de piégeage du carbone du sol.

Il ne s'agit pas uniquement de l'énergie : Lorsque les prix du carbone sont élevés, le potentiel d'atténuation de l'agriculture et de la foresterie est supérieur à celui de tout autre secteur de l'économie



Source : Barker et al. 2007b, figure TS.27.

Note : Les intervalles de variation des estimations du potentiel économique de chaque secteur sont représentés par les traits verticaux noirs.

ENCADRÉ 8 *Le rôle de l'affectation des terres, de l'agriculture et de la foresterie dans la gestion du changement climatique (suite)*

Premièrement, le suivi des émissions de carbone devrait être réalisé « sur la base des activités » ; dans ce cas, les réductions d'émissions seraient estimées en fonction des travaux accomplis par l'agriculteur plutôt que sur la base d'analyses du sol qui est une méthode beaucoup plus onéreuse. Des coefficients particuliers et prudents pourraient en outre être établis pour les réductions d'émissions dans différentes zones agroécologiques et climatiques. Cette démarche est plus simple, moins coûteuse et plus prévisible pour l'agriculteur qui sait, dès le départ, combien il pourra obtenir, ou éventuellement combien il devra payer à titre de pénalité, pour une activité donnée.

Deuxièmement, il serait possible de réduire les coûts de transaction en ayant recours à des « agrégateurs » chargés de procéder au regroupement des activités menées par un grand nombre de petites exploitations, comme c'est le cas dans le projet pilote au Kenya. En travaillant avec un grand nombre d'exploitations, les agrégateurs pourraient constituer une masse critique et absorber d'éventuelles inversions des activités de piégeage. Le regroupement d'un ensemble de projets et le recours à des estimations prudentes de la permanence du stockage devraient permettre de faire du piégeage du carbone du sol une activité absolument équivalente à celles qui produisent des

réductions de CO₂ dans d'autres secteurs. Troisièmement, une aide logistique, en particulier pour les agriculteurs pauvres qui ont besoin d'un appui financier pour pouvoir assumer les coûts initiaux, doit comprendre des services de vulgarisation renforcés. Ces derniers sont essentiels à la diffusion des connaissances sur les pratiques de piégeage et sur les opportunités de financement.

Source : Canadell *et al.* 2007 ; Eliasch 2008 ; FAO 2005 ; Smith *et al.* 2009 ; Smith *et al.* 2008 ; Tschakert 2004 ; PNUE 1990 ; Voluntary Carbon Standard 2007 ; Banque mondiale 2008c.

Pourtant, un certain nombre de pays ont adopté des programmes de relance budgétaire qui visent à promouvoir une économie plus verte tout en rétablissant la croissance, dont la facture globale dépassera 400 milliards de dollars sur les quelques années à venir, dans l'espoir de stimuler l'économie et de créer des emplois⁹³. Les investissements dans le rendement énergétique peuvent avoir un triple dividende sous forme d'un accroissement des économies d'énergie, d'une réduction des émissions et de la création d'emplois.

Les négociations climatiques en cours, qui culmineront à Copenhague en décembre 2009, progressent lentement, par suite de l'inertie qui règne dans la sphère politique. Pour toutes les raisons présentées dans ce rapport – l'inertie du système climatique, l'inertie de l'infrastructure, l'inertie des systèmes socio-économiques –, il est impératif de conclure au plus tôt un accord climatique. Mais, il faut que cet accord soit intelligent, qu'il crée les incitations nécessaires à l'apport de solutions efficaces, à la génération de flux de financements et au développement de nouvelles technologies.

Et il faut qu'il soit équitable, qu'il réponde aux besoins et aux aspirations des pays en développement. Seul un accord présentant ces caractéristiques pourra rétablir un climat favorable au développement.

Notes

1. Le seuil d'extrême pauvreté est fixé à 1,25 dollar par jour (Chen et Ravallion 2008).
2. FAO 2009b.
3. L'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) appelle à une stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère « à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, consulté le 1^{er} août 2009).
4. Exprimée en carbone émis par dollar de PIB.
5. À l'échelle mondiale, il en résulterait une réduction de 4 à 6 gigatonnes des émissions annuelles de CO₂, compte tenu de la gamme des énergies utilisées dans ces secteurs (AIE 2008e). On

Beaucoup de gens s'efforcent de faire quelque chose pour protéger l'environnement. Je pense que nous ne réussirons à le faire que si nous travaillons tous ensemble. Même les enfants peuvent se joindre aux efforts : nous sommes la prochaine génération et nous devons chérir la nature qui nous entoure.

— Adrian Lau Tsun Yin, Chine, 8 ans



Anoushka Bhari, Kenya, 8 ans

pourrait obtenir une réduction comparable des émissions dans le secteur de la construction dans les pays à revenu élevé (voir, par exemple, Mills 2009).

6. Banque mondiale, 2009b.

7. De la Torre, Fajnzylber et Nash 2008.

8. Les gaz à effet de serre ont, chacun, une capacité différente de rétention de la chaleur. La concentration en équivalent dioxyde de carbone (CO₂e) permet de décrire l'effet composite de ces gaz sur le réchauffement mondial par rapport à la quantité de CO₂ qui aurait le même potentiel de rétention de la chaleur sur une période donnée.

9. Calculs établis par l'auteur à partir des données des outils d'analyse du climat (Climate Analysis Indicators Tool) du World Resources Institute (WRI, 2008). L'écart est encore plus prononcé si l'on prend en compte dans les calculs des petits États insulaires comme la Barbade (4,6 tonnes de CO₂e par habitant) et les pays producteurs de pétrole comme le Qatar (55 tonnes de CO₂e par habitant) ou les Émirats arabes unis (39 tonnes de CO₂e par habitant).

10. AIE 2008c.

11. Edmond *et al.* 2008 ; Hamilton 2009. Blanford, Richels et Rutherford (2008) montrent également que des économies importantes peuvent être réalisées lorsque les pays annoncent à l'avance la date à laquelle ils prévoient d'engager des mesures d'atténuation, car les investisseurs dans des équipements de longue durée peuvent prendre en considération l'évolution probable du régime réglementaire et des prix du carbone et donc de réduire le nombre d'actifs qui, à terme, deviendront improductifs.

12. Les crises financières qui sont étroitement synchronisées sur le plan international durent généralement aussi longtemps et sont suivies de périodes de relèvement de même durée. En revanche, les pertes qu'elles entraînent sont généralement plus importantes (contraction de 5 % du PIB en moyenne). Voir FMI (2009) tableau 3.1. Même la grande dépression qui a frappé les États-Unis n'a duré que trois ans et demi, d'août 1929 à mars 1933 (base de données sur les phases d'expansion et de contraction du cycle économique du Bureau national de recherches économiques <http://www.nber.org/cycles.htm>, consultée le 1^{er} août 2009).

13. Matthews et Caldeira 2008.

14. Schaeffer *et al.* 2008a.

15. Si la question de ce qui constitue une évolution climatique dangereuse renvoie nécessairement à des jugements de valeur, les résultats des recherches menées récemment par le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indiquent qu'un réchauffement supérieur à 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle entraînerait une très forte augmentation des risques, et qu'il y a des avantages considérables à maintenir le réchauffement à des températures n'excédant pas 1,6 °C à 2,6 °C (Fisher *et al.* 2007 ; GIEC 2007b ; GIEC 2007c ; Parry *et al.* 2007). Plusieurs publications scientifiques récentes appuient l'analyse selon laquelle le réchauffement doit être maintenu aussi près que possible des 2 °C par rapport aux températures préindustrielles Focus A on science ; Mann 2009 ; Smith *et al.* 2009. Les organisateurs du Congrès scientifique international sur le changement climatique tenu en 2009 ont souligné, à l'issue de leurs travaux, que les spécialistes s'accordent de plus en plus à reconnaître que les sociétés contemporaines et les écosystèmes auraient les plus grandes difficultés à faire face à un réchauffement supérieur à 2 °C. <http://climatecongress.ku.dk> (consulté le 1^{er} août 2009.). D'autres intervenants plaident en faveur d'une limitation du réchauffement à 2 °C, parmi lesquels la Commission européenne

(2007), le Groupe d'experts scientifique sur le changement climatique (SEG 2007), et le Comité directeur scientifique international (International Scientific Steering Committee 2005). Les dirigeants de l'Afrique du Sud, de l'Allemagne, de l'Australie, du Brésil, du Canada, de la Chine, des États-Unis, de la Fédération de Russie, de la France, de l'Inde, de l'Indonésie, de l'Italie, du Japon, du Mexique, de la République de Corée, du Royaume-Uni et de l'Union européenne, réunis à l'occasion du Forum des économies majeures sur l'énergie et le climat (MEF), tenu en juillet 2009, se sont ralliés à l'avis scientifique général selon lequel l'augmentation de la température moyenne globale au-dessus du niveau préindustriel ne devrait pas dépasser 2 °C. http://usclimatenetwork.org/resource-database/MEF_Declaration1-0.pdf (consulté le 1^{er} août 2009).

16. GIEC 2007c.

17. Raupach *et al.* 2007.

18. Lawrence *et al.* 2008. Matthews et Keith 2007 ; Parry *et al.* 2008 ; Scheffer, Brovkin et Cox 2006 ; Torn et Harte 2006 ; Walter *et al.* 2006.

19. Horton *et al.* 2008.

20. Cette estimation ne tient pas compte de l'augmentation des dommages provoqués par les marées de tempête et se fonde sur la population et les activités économiques actuelles. En conséquence, en l'absence de programmes d'adaptation à grande échelle, le montant des pertes sera sans doute beaucoup plus important. Dasgupta *et al.* 2009.

21. Stern 2007.

22. Easterling *et al.*, 2007, tableau 5.6, p. 299.

23. Parry *et al.*, 2007, tableau TS.3, p. 66.

24. Nordhaus et Boyer 2000. Stern (2007) conclue, de même, qu'en Inde et en Asie du Sud-Est, les pertes liées au changement climatique seraient largement supérieures à la moyenne mondiale.

25. Nordhaus 2008 ; Stern 2007 ; Yohe *et al.* 2007, figure 20.3.

26. Selon les estimations établies à l'aide du modèle PAGE, utilisé dans le cadre de l'étude de Stern sur le changement climatique, les pays en développement supporteraient 80 % du coût des dommages provoqués par le changement climatique (Hope 2009, et autres données ventilées communiquées par l'auteur). Les résultats obtenus avec le modèle RICE (Nordhaus et Boyer 2000) qui a été élargi pour intégrer les coûts d'adaptation dans de Bruin, Dellink et Agrawala (2009), indiquent que près des trois-quarts du coût des dommages seraient à la charge des pays en développement. Voir également Smith *et al.* (2009) ; Tol (2008). Il convient cependant de noter que cette évaluation pourrait être sous-estimée, dans la mesure où elle ne tient pas compte de la valeur des services écosystémiques perdus. Voir le chapitre 1 pour un examen des limites de la capacité des modèles à rendre compte du coût des impacts du changement climatique.

27. Noté lors de consultations avec des pays d'Afrique de l'Est et d'Amérique latine.

28. Barbera et McConnell 1990 ; Barrett 2005 ; Burtraw *et al.* 2005 ; Jaffe *et al.* 1995 ; Meyer 1995.

29. Hope 2009 ; Nordhaus 2008.

30. Nordhaus 2008.

31. Peu de modèles intègrent les coûts d'adaptation. Voir de Bruin, Dellink et Agrawala (2009).

32. Nordhaus 2008, p. 86, figure 5.3. Nordhaus observe que le coût supplémentaire de la stabilisation du réchauffement à 2 °C, et non au niveau de 3,5 °C qu'il juge optimal, serait de 0,3 % du PIB par

an. Le coût supplémentaire d'un réchauffement à 2,5 °C plutôt qu'à 3,5 °C serait inférieur à 0,1 % du PIB par an.

33. Les pays en développement consacrent en moyenne 1,5 % de leur PIB au titre d'assurances, assurance-maladie comprise mais hors assurance-vie (Swiss Re 2007).

34. McKinsey & Company 2009.

35. En dollars constants, Banque mondiale 2009c.

36. Adger *et al.* 2009.

37. GIEC 2001.

38. Mignone *et al.* 2008. Cette assertion vaut en l'absence de technologie de géo-ingénierie efficace et acceptable (voir le chapitre 7).

39. Cela peut tenir aux économies d'échelle réalisées au niveau de l'acquisition des technologies (dans le cas, notamment, du programme nucléaire français et peut-être de la génération d'électricité solaire concentrée); aux effets de réseau (pour les programmes de construction de voies routières ou ferroviaires); ou à des chocs démographiques ou économiques. Cette assertion, et le reste du paragraphe sont basés sur Shalizi et Lecocq 2009.

40. Shalizi et Lecocq 2009.

41. Folger 2006; Levin *et al.* 2007.

42. Häfele *et al.* 1981, tel que cité dans Ha-Duong, Grubb, et Hourcade 1997.

43. Davis et Owens 2003; AIE 2008b; Nemet et Kammen 2007; SEG 2007; Stern 2007.

44. Repetto 2008.

45. Stern 2007 Part VI.

46. Chiffre calculé sur la base de la formule utilisée dans Nordhaus 2008.

47. Chiffres arrondis basés sur les estimations suivantes. Le GIEC estime que, avec des prix du carbone à hauteur de 50 dollars la tonne de CO₂e, environ 65 % de la réduction des émissions aura lieu dans les pays en développement en 2030 (tableau 11.3 de Barker *et al.* 2007a). McKinsey & Company (2009) estime que cette proportion est de 68 % dans un scénario de stabilisation des émissions à 450 ppm avec une allocation au moindre coût. La part des investissements mondiaux de moindre coût dans l'atténuation réalisés en 2030 dans les pays en développement est, quant à elle comprise entre 44 et 67 % selon certaines estimations (voir le tableau 4.2 : 44 % MESSAGE; 56 % McKinsey; 67 %, Perspectives des technologies de l'énergie, AIE) bien que REMIND produise une estimation ayant une valeur extrême (91 %) pour une concentration de 450 ppm de CO₂e. Sur l'ensemble du siècle (sur la base des valeurs actualisées de tous les investissements en 2100) la part estimée pour les pays en développement est un peu plus élevée puisqu'elle va de 66 % (Edmonds *et al.* 2008) à 71 % (Hope 2009).

48. Edmonds *et al.* 2008.

49. Pour un scénario de stabilisation à 425-450 ppm de CO₂e, ou encore 2 °C, les estimations de coût sont les suivantes : IIASA 2009 : 4 000 milliards de dollars; Knopf *et al.* à paraître : 6 000 milliards de dollars; Edmonds *et al.* 2008 : 9 000 milliards de dollars; Nordhaus 2008 : 11 000 milliards de dollars; et Hope 2009 : 25 000 milliards de dollars. Ces chiffres sont actualisés et les écarts observés tiennent en grande partie à l'emploi de différents taux d'actualisation. Toutes les estimations sont basées sur le scénario le plus optimiste, dans lequel les mesures d'atténuation sont prises où que ce soit et au moment où elles sont le plus efficaces par rapport aux coûts.

50. Hamilton 2009.

51. The Nameless Hurricane, http://science.nasa.gov/headlines/y2004/02apr_hurricane.htm. Consulté le 12 mars 2009.

52. Rogers 2009; Westermeyer 2009.

53. OECO 2004.

54. Banque mondiale 2008b.

55. Kanbur 2009.

56. FAO 2009a.

57. Worldwatch Institute State of the World 2005 Trends and Facts — Water Conflict and Security Cooperation (<http://www.worldwatch.org/node/69>, consulté le 1^{er} juillet 2009); Wolf *et al.* 1999.

58. Easterling *et al.* 2007; Fisher *et al.* 2007.

59. FAO 2008.

60. von Braun *et al.* 2008; Banque mondiale 2009a.

61. Sterner 2007. Le prix moyen du carburant en 2007 était deux fois élevé dans la zone Euro qu'aux États-Unis (1,54 dollar le litre contre 63 centimes de dollars le litre). Les variations des émissions qui ne sont pas dues aux niveaux de revenu sont prises en compte dans les résidus d'une analyse de régression des émissions par rapport au revenu par habitant. Lorsque l'on procède à la régression de ces résidus par rapport aux prix de l'essence, on obtient une estimation de l'élasticité de -0,5, ce qui signifie qu'un doublement des prix du carburant aurait pour effet de réduire les émissions de moitié, à revenu par habitant constant.

62. Basé sur les tarifs moyens de l'électricité pour les ménages en 2006-2007; U.S. Energy Information Agency (<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/elecprh.html>, consulté le 1^{er} août 2009).

63. Les données sur les émissions proviennent de WRI 2008.

64. AIE 2008c; PNUE 2008. Un rapport de 2004 de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE 2004) estime que les subventions européennes au titre de l'énergie étaient de 30 milliards d'Euros en 2001 et étaient réparties comme suit : deux-tiers pour les combustibles fossiles et le dernier tiers pour l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables.

65. <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/elecprh.html>, consulté en juillet 2009.

66. Price and Worrell 2006.

67. ESMAP 2006.

68. <http://co2captureandstorage.info/index.htm>, (consulté le 1^{er} août 2009).

69. Calvin *et al.* À paraître. AIE 2008a.

70. Gurgel, Reilly, et Paltsev 2007; AIE 2006; Wise *et al.* 2007.

71. NRC 2007; Tilman Hill, et Lehman 2006; WBGU 2009.

72. OCDE 2008.

73. Lotze-Campen *et al.* 2009; Wise *et al.* 2009; Se reporter au chapitre 3 pour une analyse de la question.

74. Scherr et McNeely 2008.

75. Banque mondiale 2007b.

76. Milly *et al.* 2008.

77. Fay, Block, et Ebinger 2010; Ligeti, Penney, et Wieditz 2007; The Heinz Center 2007

78. Lempert et Schlesinger 2010.

79. Keller, Yohe, et Schlesinger 2008.

80. Cass 2005; Davenport 2008; Dolsak 2001; Kunkel, Jacob, et Busch 2006.

81. Alber et Kern 2008.

82. Guth, Schmittberger, et Schwarze 1982; Camerer et Thaler 1995; Irwin 2009; Ruffle 1998.

83. *The Times of India* <http://timesofindia.indiatimes.com/NEWS/India/Even-in-2031-Indias-per-capita-emission-will-be-1/7th-of-US/articleshow/4717472.cms>, (consulté en août 2009).

84. Dechezleprêtre *et al.* 2008.

85. Maini 2005 ; Nagrath 2007.

86. Haites *et al.* 2006.

87. <http://www.gefweb.org/uploadedFiles/Publications/ClimateChange-FS-June2009.pdf> (consulté le 6 juillet 2009).

88. http://unfccc.int/meetings/cop_13/items/4049.php, (consulté le 1^{er} août 2009).

89. La réflexion sur l'aide et le développement s'oriente vers des évaluations des impacts et une aide basée sur les résultats, ce qui permet de penser qu'il y a lieu d'être déçu par les programmes fondés sur les moyens (dans le cadre desquels le suivi portait sur le montant des fonds décaissés et le nombre d'écoles construites par opposition au nombre d'enfants achevant leur scolarité ou l'amélioration des résultats scolaires). Il existe toutefois certaines différences dans la manière dont les approches « fondées sur les moyens » sont définies dans le cas présent puisque les « moyens » sont les réorientations des politiques et non pas des apports financiers définis au sens strict – c'est-à-dire l'adoption et l'application de normes de consommation de carburant et non pas le montant des dépenses publiques consacrées à un programme de rendement énergétique automobile. Il faudrait néanmoins procéder à un suivi et évaluation pour déterminer ce qui donne de bons résultats.

90. Olsen 2007 ; Sutter et Parreno 2007; Olsen et Fenhann 2008 ; Nussbaumer 2009 ; Michaelowa et Pallav 2007; Schneider 2007.

91. Fankhauser, Martin, et Prichard, à paraître.

92. Banque mondiale 2007d.

93. Les programmes de relance mis en œuvre dans le monde entier devraient injecter environ 430 milliards de dollars dans des domaines essentiels au regard du changement climatique au cours des prochaines années : 215 milliards de dollars pour les rendements énergétiques, 38 milliards de dollars pour les énergies renouvelables à faible intensité de carbone, 20 milliards de dollars pour le piégeage et le stockage de carbone, et 92 milliards de dollars pour des réseaux intelligents. Robins, Clover, et Singh 2009. Voir le chapitre 1 pour une analyse des créations d'emplois escomptées.

Bibliographie

Adger, W. N., S. Dessai, M. Goulden, M. Hulme, I. Lorenzoni, D. R. Nelson, L. O. Naess, J. Wolf, et A. Wreford. 2009. « Are There Social Limits to Adaptation to Climate Change? » *Climatic Change* 93 (3-4): 335-54.

AEE (Agence européenne pour l'environnement). 2004. « Energy Subsidies in the European Union: A Brief Overview. » Technical Report 1/2004, AEE, Copenhague.

Agrawala, S., et S. Fankhauser. 2008. *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*. Paris : Organisation de coopération et de développement économiques.

AIE (Agence internationale pour l'énergie). 2006. *World Energy Outlook 2006*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

———. 2008a. *CO₂ Capture and Storage — A Key Abatement Option*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

———. 2008b. *Energy Efficiency Policy Recommendations: In Support of the G8 Plan of Action*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

———. 2008c. *Energy Technology Perspective 2008: Scenarios and Strategies to 2050*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

———. 2008d. *World Energy Outlook 2008*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

———. 2008e. *Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency: Key Insights from IEA Indicator Analysis*. Paris : Agence internationale pour l'énergie.

Alber, G., et K. Kern. 2008. « Governing Climate Change in Cities: Modes of Urban Climate Governance in Multi-Level Systems. » Rapport présenté à la Conférence de l'OCDE intitulée « La compétitivité des villes et le changement climatique », Milan, 9 et 10 octobre.

Bai, X. 2006. « Rizhao, China: Solar-Powered City. » In *State of the World 2007: Our Urban Future*, ed. Worldwatch Institute. New York: W.W. Norton & Company Inc.

Banque mondiale. 2007a. *East Asia Environment Monitor 2007: Adapting to Climate Change*. Washington : Banque mondiale.

———. 2007c. *Making the Most of Scarcity: Accountability for Better Water Management Results in the Middle East and North Africa*. Washington, DC: Banque mondiale.

———. 2007d. *Rapport sur le développement dans le monde 2008. L'agriculture au service du développement*. Washington: Banque mondiale.

———. 2008a. *The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: Providing Immediate Funding after Natural Disasters*. Washington : Banque mondiale.

———. 2008b. *South Asia Climate Change Strategy*. Washington: Banque mondiale.

———. 2008c. *World Development Indicators 2008*. Washington: Banque mondiale.

———. 2009a. *Improving Food Security in Arab Countries*. Washington : Banque mondiale.

———. 2009b. *Making Development Climate Resilient: A World Bank Strategy for Sub-Saharan Africa*. Washington : Banque mondiale.

———. 2009c. *The Economics of Adaptation to Climate Change*. Washington : Banque mondiale.

———. 2009d. « World Bank Urban Strategy. » Banque mondiale, Washington.

———. 2007b. *India Groundwater AAA Midterm Review*. Washington : Banque mondiale.

Barbera, A. J., et V. D. McConnell. 1990. « The Impacts of Environmental Regulations on Industry Productivity: Direct and Indirect Effects. » *Journal of Environmental Economics and Management* 18 (1): 50-65.

Barbier, E. B., et S. Santhirathai, ed. 2004. *Shrimp Farming and Mangrove Loss in Thailand*. Cheltenham, Royaume-Uni : Edward Elgar Publishing.

Barker, T., I. Bashmakov, A. Alharthi, M. Amann, L. Cifuentes, J. Drexhage, M. Duan, O. Edenhofer, B. Flannery, M. Grubb, M. Hoogwijk, F. I. Ibitoye, C. J. Jepma, W. A. Pizer, et K. Yamaji. 2007a. « Mitigation From a Cross-Sectoral Perspective. » Publié dans *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, et L. A. Meyer. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Barker, T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bognner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnaes, B. Heij, S. Khan Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakićenović, H.-H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, et D. Zhou. 2007b. « Technical Summary. » Publié dans *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, et L. A. Meyer. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Barrett, S. 2003. *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford: Oxford University Press.
- Blanford, G. J., R. G. Richels, et T. F. Rutherford. 2008. « Revised Emissions Growth Projections for China: Why Post-Kyoto Climate Policy Must Look East. » Harvard Project on International Climate Agreements, Harvard Kennedy School Discussion Paper 08-06, Cambridge, MA.
- BTS (Bureau of Transportation Statistics). 2008. *Key Transportation Indicators November 2008*. Washington: U.S. Department of Transportation.
- Burke, M., D. B. Lobell, et L. Guarino. 2009. « Shifts in African Crop Climates by 2050 and the Implications for Crop Improvement and Genetic Resources Conservation. » *Global Environmental Change*. 19 (3): 317-325.
- Burtraw, D., D. A. Evans, A. Krupnick, K. Palmer, et R. Toth. 2005. « Economics of Pollution Trading for SO₂ and NO_x. » Discussion Paper 05-05, Resources for the Future, Washington.
- Calvin, K., J. Edmonds, B. Bond-Lamberty, L. Clarke, P. Kyle, S. Smith, A. Thomson, et M. Wise. À paraître. « Limiting Climate Change to 450 ppm CO₂ Equivalent in the 21st Century. » *Energy Economics*.
- Camerer, C., et R. H. Thaler. 1995. « Anomalies: Ultimatums Dictators and Manners. » *Journal of Economic Perspectives* 9 (2): 109-220.
- Canadell, J. G., C. Le Quere, M. R. Raupach, C. B. Field, E. T. Buitenhuis, P. Ciais, T. J. Conway, N. P. Gillett, R. A. Houghton, et G. Marland. 2007. « Contributions to Accelerating Atmospheric CO₂ Growth from Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (47): 18866-70.
- Cass, L. 2005. « Measuring the Domestic Salience of International Environmental Norms: Climate Change Norms in German, British, and American Climate Policy Debates. » Étude présentée devant International Studies Association, 15 mars, Honolulu.
- CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 2008. *Investment and Financial Flows to Address Climate Change: An Update*. Bonn: CCNUCC.
- Chen, S, et M. Ravallion. 2008. « The Developing World Is Poorer than We Thought, But No Less Successful in the Fight against Poverty. » Policy Research Working Paper 4703, Banque mondiale, Washington.
- Clarke, L., J. Edmonds, V. Krey, R. Richels, S. Rose, et M. Tavoni. À paraître. « International Climate Policy Architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. » *Energy Economics*.
- Commission européenne. 2007. « Limiting Global Climate Change to 2 Degrees Celsius — The Way Ahead for 2020 and Beyond: Impact Assessment Summary. » Commission Staff Working Document, Bruxelles.
- Dasgupta, S., B. Laplante, C. Meisner, D. Wheeler, et J. Yan. 2009. « The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. » *Climatic Change* 93 (3-4): 379-88.
- Davenport, D. 2008. « The International Dimension of Climate Policy. » In *Turning Down the Heat: The Politics of Climate Policy in Affluent Democracies*, ed. H. Compston et I. Bailey. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan.
- Davis, G., et B. Owens. 2003. « Optimizing the Level of Renewable Electric R&D Expenditures Using Real Options Analysis. » *Energy Policy* 31 (15): 1589-1608.
- de Bruin, K., R. Dellink, et S. Agrawala. 2009. « Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modeling of Adaptation Costs and Benefits. » Environment Working Paper 6, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris.
- de la Torre, A., P. Fajnzylber, et J. Nash. 2008. *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change*. Washington: Banque mondiale.
- Dechezleprêtre, A., M. Glachant, I. Hascic, N. Johnstone, et Y. Ménière. 2008. *Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies on a Global Scale: A Study Drawing on Patent Data*. Paris: CERNA.
- Deltacommissie. 2008. *Working Together with Water: A Living Land Builds for Its Future*. Pays-Bas: Deltacommissie.
- Derpsch, R., et T. Friedrich. 2009. « Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. » In *Lead Papers, 4th World Congress on Conservation Agriculture*, 4-7 février 2009, New Delhi, Inde. New Delhi: World Congress on Conservation Agriculture.
- Disasters Database. » Louvain: Université Catholique de Louvain, École de Santé Publique.
- DOE (U.S. Department of Energy). 2009. « Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). » DOE, Oak Ridge, TN.
- Dolsak, N. 2001. « Mitigating Global Climate Change: Why Are Some Countries More Committed than Others? » *Policy Studies Journal* 29 (3): 414-36.
- Easterling, W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber, et F. Tubiello. 2007. « Food, Fibre and Forest Products. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. ed. M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, et C. E. Hanson. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ebi, K. L., et I. Burton. 2008. « Identifying Practical Adaptation Options: An Approach to Address Climate Change-related Health Risks. » *Environmental Science and Policy* 11 (4): 359-69.
- Edmonds, J., L. Clarke, J. Lurz, et M. Wise. 2008. « Stabilizing CO₂ Concentrations with Incomplete International Cooperation. » *Climate Policy* 8 (4): 355-76.
- Eliasch, J. 2008. *Climate Change: Financing Global Forests: The Eliasch Review*. Londres: Earthscan.
- Erenstein, O. 2009. « Adoption and Impact of Conservation Agriculture Based Resource Conserving Technologies in South Asia. » In *Lead Papers, 4th World Congress on Conservation Agriculture*, February 4-7, 2009, New Delhi, Inde. New Delhi: World Congress on Conservation Agriculture.

- Erenstein, O., et V. Laxmi. 2008. « Zero Tillage Impacts in India's Rice-Wheat Systems: A Review. » *Soil and Tillage Research* 100 (1-2): 1-14.
- ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program). 2006. *Proceedings of the International Grid- Connected Renewable Energy Policy Forum*. Washington : Banque mondiale.
- Falloon, P., et R. Betts. À paraître. « Climate Impacts on European Agriculture and Water Management in the Context of Adaptation and Mitigation: The Importance of an Integrated Approach. » *Science of the Total Environment*.
- Fankhauser, S., N. Martin, et S. Prichard. À paraître. « The Economics of the CDM Levy: Revenue Potential, Tax Incidence and Distortionary Effects. » Document de travail. London School of Economics.
- FAO (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture). 2005. « Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards Sustainable Forest Management. » Forestry Paper 147, Rome.
- . 2007. « The World's Mangroves 1980-2005. » Forestry Paper 153, Rome.
- . 2008. *Food Outlook: Global Market Analysis*. Rome: FAO.
- . 2009a. « Aquastat. » Rome.
- . 2009b. « More People than Ever Are Victims of Hunger. » Communiqué de presse, Rome.
- Fay, M., R. I. Block, et J. Ebinger. 2010. *Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia*. Washington : Banque mondiale.
- Fisher, B. S., N. Nakićenović, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.-C. Hourcade, K. Jiang, M. Kainuma, E. La Rovere, A. Matysek, A. Rana, K. Riahi, R. Richels, S. Rose, D. van Vuuren, et R. Warren. 2007. « Issues Related to Mitigation in the Long- Term Context. » In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, et L. A. Meyer. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- FMI (Fonds monétaire international). 2009. In *World Economic Outlook: Crisis and Recovery*. Washington : FMI.
- Folger, T. 2006. « Can Coal Come Clean? How to Survive the Return of the World's Dirtiest Fossil Fuel. » Décembre. *Discover Magazine*.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genève : GIEC.
- . 2007a. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genève : GIEC.
- . 2007b. « Summary for Policymakers. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- . 2007c. « Summary for Policymakers. » In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, et H. L. Miller. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- Gouvernement bangladais. 2008. *Cyclone Sidr in Bangladesh: Damage, Loss and Needs Assessment for Disaster Recovery and Reconstruction*. Dhaka : Gouvernement bangladais, Banque mondiale, et Commission européenne.
- Guan, D., et K. Hubacek. 2008. « A New and Integrated Hydro-Economic Accounting and Analytical Framework for Water Resources: A Case Study for North China. » *Journal of Environmental Management* 88 (4): 1300-1313.
- Gurgel, A. C., J. M. Reilly, et S. Paltsev. 2007. « Potential Land Use Implications of a Global Biofuels Industry. » *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization* 5 (2): 1 -34.
- Guth, W., R. Schmittberger, et B. Schwarze. 1982. « An Experimental Analysis of Ultimatum Bargaining. » *Journal of Economic Behavior and Organization* 3 (4): 367-88.
- Guthrie, P., C. Juma, et H. Sillem, eds. 2008. *Engineering Change: Towards a Sustainable Future in the Developing World*. Londres : Royal Academy of Engineering.
- Ha-Duong, M., M. Grubb, et J.-C. Hourcade. 1997. « Influence of Socioeconomic Inertia and Uncertainty on Optimal CO₂- Emission Abatement. » *Nature* 390: 270-73.
- Häfele, W., J. Anderer, A. McDonald, et N. Nakićenović. 1981. *Energy in a Finite World: Paths to a Sustainable Future*. Cambridge, MA: Ballinger.
- Haites, E., D. Maosheng, et S. Seres. 2006. « Technology Transfer by CDM Projects. » *Climate Policy* 6: 327-44.
- Hamilton, K. 2009. « Delayed Participation in a Global Climate Agreement. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Hare, B., et M. Meinshausen. 2006. « How Much Warming Are We Committed to and How Much Can Be Avoided? » *Climatic Change* 75 (1-2): 111-49.
- Heinz Center. 2007. *A Survey of Climate Change Adaptation Planning*. Washington : John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment.
- Hof, A. F., M. G. J. den Elzen, et D. P. van Vuuren. 2008. « Analyzing the Costs and Benefits of Climate Policy: Value Judgments and Scientific Uncertainties. » *Global Environmental Change* 18 (3): 412-24.
- Hope, C. 2009. « How Deep Should the Deep Cuts Be? Optimal CO₂ Emissions over Time under Uncertainty. » *Climate Policy* 9 (1): 3-8.
- Horton, R., C. Herweijer, C. Rosenzweig, J. Liu, V. Gornitz, et A. C. Ruane. 2008. « Sea Level Rise Projections for Current Generation CGCMs Based on the Semi- Empirical Method. » *Geophysical Research Letters* 35: L02715-doi:10.1029/2007GL032486.
- Houghton, R. A. 2009. « Emissions of Carbon from Land Management. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- ICCT (International Council on Clean Transportation). 2007. *Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standard: A Global Update*. Washington : ICCT.
- IIASA (Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués). 2009. « GGI Scenario Database. » Laxenburg, Autriche.
- International Scientific Steering Committee. 2005. *Avoiding Dangerous Climate Change: International Symposium on the Stabilization of Greenhouse Gas Concentrations*. Rapport de

- International Scientific Steering Committee. Exeter, Royaume-Uni : Hadley Centre Met Office.
- Irwin, T. 2009. « Implications for Climate Change Policy of Research on Cooperation in Social Dilemma. » Policy Research Working Paper 5006. Banque mondiale, Washington.
- Jaffe, A., S. R. Peterson, P. R. Portney, et R. N. Stavins. 1995. « Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us? » *Journal of Economic Literature* 33 (1): 132-63.
- Kanbur, R. 2009. « Macro Crises and Targeting Transfers to the Poor. » Cornell Food and Nutrition Policy Program, Working Paper 236, Ithaca, NY.
- Karim, M. F., et N. Mimura. 2008. « Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Cyclonic Storm Surge Floods in Bangladesh. » *Global Environmental Change* 18 (3): 490-500.
- Keim, M. E. 2008. « Building Human Resilience: The Role of Public Health Preparedness and Response as an Adaptation to Climate Change. » *American Journal of Preventive Medicine* 35 (5): 508-16.
- Keller, K., G. Yohe, et M. Schlesinger. 2008. « Managing the Risks of Climate Thresholds: Uncertainties and Information Needs. » *Climatic Change* 91: 5-10.
- Knopf, B., O. Edenhofer, T. Barker, N. Bauer, L. Baumstark, B. Chateau, P. Criqui, A. Held, M. Isaac, M. Jakob, E. Jochem, A. Kitous, S. Kypreos, M. Leimbach, B. Magné, S. Mima, W. Schade, S. Scricciu, H. Turton, et D. van Vuuren. À paraître. « The Economics of Low Stabilisation: Implications for Technological Change et Policy. » In *Making Climate Change Work for Us*, ed. M. Hulme et H. Neufeldt. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- Koetse, M., et P. Rietveld. 2009. « The Impact of Climate Change and Weather on Transport: An Overview of Empirical Findings. » *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14 (3): 205-21.
- Kunkel, N., K. Jacob, et P. - O. Busch. 2006. « Climate Policies : (The Feasibility of) a Statistical Analysis of their Determinants. » Paper presented at the Human Dimensions of Global Environmental Change, Berlin.
- Lawrence, D. M., A. G. Slater, R. A. Tomas, M. M. Holland, et C. Deser. 2008. « Accelerated Arctic Land Warming and Permafrost Degradation during Rapid Sea Ice Loss. » *Geophysical Research Letters* 35: L11506- doi:10.1029/2008GL033985.
- Lehmann, J. 2007. « A Handful of Carbon. » *Nature* 447: 143-44.
- Lempert, R. J., et M. E. Schlesinger. 2000. « Robust Strategies for Abating Climate Change. » *Climatic Change* 45 (3-4): 387-401.
- Levin, K., B. Cashore, S. Bernstein, et G. Auld. 2007. « Playing It Forward: Path Dependency, Progressive Incrementalism, and the 'Super Wicked' Problem of Global Climate Change. » Étude présentée à International Studies Association 48th Annual Convention, 28 février, Chicago.
- Ligeti, E., J. Penney, et I. Wieditz. 2007. *Cities Preparing for Climate Change: A Study of Six Urban Regions*. Toronto: Clean Air Partnership.
- Lotze- Campen, H., A. Popp, J. P. Dietrich, et M. Krause. 2009. « Competition for Land between Food, Bioenergy and Conservation. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.- M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Ray-naud, J. Jouzel, H. Fischer, K. Kawamura, et T. F. Stocker. 2008. « High- Resolution Carbon Dioxide Concentration Record 650,000-800,000 Years before Present. » *Nature* 453 (7193): 379-82.
- Maini, C. 2005. « Development of a Globally Competitive Electric Vehicle in India. » *Journal of the Indian Institute of Science* 85: 83-95.
- Mann, M. 2009. « Defining Dangerous Anthropogenic Interference. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (11): 4065-66.
- Matthews, H. D., et D. W. Keith. 2007. « Carbon- cycle Feedbacks Increase the Likelihood of a Warmer Future. » *Geophysical Research Letters* 34: L09702- doi:10.1029/2006GL028685.
- Matthews, H. D., et K. Caldeira. 2008. « Stabilizing Climate Requires Near- zero Emissions. » *Geophysical Research Letters* 35: L04705- doi:10.1029/2007GL032388.
- McKinsey & Company. 2009. *Pathways to a Low-carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*. McKinsey & Company.
- McNeely, J. A., et S. J. Scherr. 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Biodiversity*. Washington : Island Press.
- Meyer, S. M. 1995. « The Economic Impact of Environmental Regulation. » *Journal of Environmental Law and Practice* 3 (2): 4-15.
- Michaelowa, A., et P. Pallav. 2007. *Additional-ity Determination of Indian CDM Projects: Can Indian CDM Project Developers Outwit the CDM Executive Board?* Zurich: Université de Zurich.
- Mignone, B. K., R. H. Socolow, J. L. Sarmiento, et M. Oppenheimer. 2008. « Atmospheric Stabilization and the Timing of Carbon Mitigation. » *Climatic Change* 88 (3-4): 251-65.
- Mills, E. 2009. *Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Milly, P. C. D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier, et R. J. Stouffer. 2008. « Stationarity Is Dead: Whither Water Management? » *Science* 319 (5863): 573-74.
- Müller, C., A. Bondeau, A. Popp, K. Waha, et M. Fader. 2009. « Climate Change Impacts on Agricultural Yields. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Nagrath, S. 2007. « Gee Whiz, It's a Reva! The Diminutive Indian Electric Car Is a Hit on the Streets of London. » *Businessworld* 27(2), 16 octobre.
- National Academy of Engineering. 2008. *Grand Challenges for Engineering*. Washington : National Academy of Sciences.
- Nemet, G. 2006. « Beyond the Learning Curve: Factors Influencing Cost Reductions in Photovoltaics. » *Energy Policy* 34 (17): 3218-32.
- Nemet, G., et D. M. Kammen. 2007. « U.S. Energy Research and Development: Declining Investment, Increasing Need, and the Feasibility of Expansion. » *Energy Policy* 35 (1): 746-55.
- Nordhaus, W. 2008. *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Nordhaus, W., et J. Boyer. 2000. *Warming the World: Economic Models of Climate Change*. Cambridge, MA: MIT Press.
- NRC (National Research Council). 2007. *Water Implications of Biofuels Production in the United States*. Washington : National Academies Press.
- Nussbaumer, P. 2009. « On the Contribution of Labeled Certified Emission Reductions to Sustainable Development: A Multi- criteria Evaluation of CDM Projects. » *Energy Policy* 37 (1): 91-101.
- OCDE (Organisation de coopération économique et de développement). 2008. *Compendium of Patent Statistics 2008*. Paris : OCDE.

- OECO (Organisation des États des Caraïbes orientales). 2004. *Grenada: Macro Socio- Economic Assessment of the Damages Caused by Hurricane Ivan*. St. Lucia: OECO.
- Olsen, K. H. 2007. « The Clean Development Mechanism's Contribution to Sustainable Development: A Review of the Literature. » *Climatic Change* 84 (1): 59-73.
- Olsen, K. H., et J. Fenhann. 2008. « Sustainable Development Benefits of Clean Development Mechanism Projects. A New Methodology for Sustainability Assessment Based on Text Analysis of the Project Design Documents Submitted for Validation. » *Energy Policy* 36 (8): 2819-30.
- Parry, M., J. Palutikof, C. Hanson, et J. Lowe. 2008. « Squaring Up to Reality. » *Nature* 2: 68-71.
- Parry, M., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, et coauthors. 2007. « Technical Summary. » In, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 1990. *Global Assessment of Soil Degradation*. New York: PNUE.
- . 2008. *Reforming Energy Subsidies: Opportunities to Contribute to the Climate Change Agenda*. Nairobi: UNEP Division of Technology, Industry and Economics.
- Price, L., et E. Worrell. 2006. « Global Energy Use, CO₂ Emissions, and the Potential for Reduction in the Cement Industry. » Étude présentée à un atelier de l'Agence internationale de l'énergie sur « Cement Energy Efficiency », Paris.
- Project Catalyst. 2009. *Adaptation to Climate Change: Potential Costs and Choices for a Global Agreement*. Londres: ClimateWorks et European Climate Foundation.
- Raupach, M. R., G. Marland, P. Ciais, C. Le Queré, J. G. Canadell, G. Klepper, et C. B. Field. 2007. « Global and Regional Drivers of Accelerating CO₂ Emissions. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (24): 10288-93.
- Repetto, R. 2008. « The Climate Crisis and the Adaptation Myth. » School of Forestry and Environmental Studies Working Paper 13, Yale University, New Haven, CT.
- Robins, N., R. Clover, et C. Singh. 2009. *A Climate for Recovery: The Colour of Stimulus Goes Green*. Londres, Royaume-Uni : HSBC.
- Rogers, D. 2009. « Environmental Information Services and Development. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Ruffe, B. J. 1998. « More Is Better, But Fair Is Fair: Tipping in Dictator and Ultimatum Games. » *Games and Economic Behavior* 23 (2): 247-65.
- Schaeffer, M., T. Kram, M. Meinshausen, D. P. van Vuuren, et W. L. Hare. 2008. « Near-Linear Cost Increase to Reduce Climate Change Risk. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (52): 20621-26.
- Scheffer, M., V. Brovkin, et P. Cox. 2006. « Positive Feedback between Global Warming and Atmospheric CO₂ Concentration Inferred from Past Climate Change. » *Geophysical Research Letters* 33: L10702- doi:10.1029/2005GL025044.
- Scherr, S. J., et J. A. McNeely. 2008. « Biodiversity Conservation and Agricultural Sustainability: Towards a New Paradigm of Ecoagriculture Landscapes. » *Philosophical Transactions of the Royal Society* 363: 477-94.
- Schneider, L. 2007. *Is the CDM Fulfilling Its Environmental and Sustainable Development Objective? An Evaluation of the CDM and Options for Improvement*. Berlin: Institute for Applied Ecology.
- SEG (Scientific Expert Group on Climate Change). 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*. Washington : Sigma Xi and the United Nations Foundation.
- Shalizi, Z. 2006. « Addressing China's Growing Water Shortages and Associated Social and Environmental Consequences. » Policy Research Working Paper 3895, Banque mondiale, Washington.
- Shalizi, Z., et F. Lecocq. 2009. « Economics of Targeted Mitigation Programs in Sectors with Long- Lived Capital Stock. » Policy Research Working Paper 5063, Banque mondiale, Washington.
- Smith, J. B., S. H. Schneider, M. Oppenheimer, G. W. Yohe, W. Hare, M. D. Mastrandrea, A. Patwardhan, I. Burton, J. Corfee-Morlot, C. H. D. Magadza, H.- M. Fussel, A. B. Pittock, A. Rahman, A. Suarez, et J.- P. van Ypersele. 2009. « Assessing Dangerous Climate Change Through an Update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Reasons for Concern ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(11):4133-37.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, R. J. Scholes, O. Siro-tenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach, et J. U. Smith. 2008. « Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture. » *Philosophical Transactions of the Royal Society* 363 (1492): 789-813.
- Snoussi, M., T. Ouchani, A. Khouakhi, et I. Niang- Diop. 2009. « Impacts of Sea- level Rise on the Moroccan Coastal Zone: Quantifying Coastal Erosion and Flooding in the Tangier Bay. » *Geomorphology* 107 (1-2): 32-40.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- Sterner, T. 2007. « Fuel Taxes: An Important Instrument for Climate Policy. » *Energy Policy* 35: 3194-3202.
- Sutter, C., et J. C. Parreno. 2007. « Does the Current Clean Development Mechanism (CDM) Deliver its Sustainable Development Claim? An Analysis of Officially Registered CDM Projects. » *Climatic Change* 84 (1): 75-90.
- Swiss Re. 2007. « World Insurance in 2006: Premiums Came Back to 'Life'. » Zurich: Sigma 4/2007.
- Tilman, D., J. Hill, et C. Lehman. 2006. « Carbon- Negative Biofuels from Low- Input High- Diversity Grassland Biomass. » *Science* 314: 1598-1600.
- Tol, R. S. J. 2008. « Why Worry about Climate Change? A Research Agenda. » *Environmental Values* 17 (4): 437-70.
- Torn, M. S., et J. Harte. 2006. « Missing Feedbacks, Asymmetric Uncertainties, and the Underestimation of Future Warming. » *Geophysical Research Letters* 33 (10): L10703- doi: 10.1029/2005GL025540.
- Tschakert, P. 2004. « The Costs of Soil Carbon Sequestration: An Economic Analysis for Small- Scale Farming Systems in Senegal. » *Agricultural Systems* 81 (3): 227-53.
- Voluntary Carbon Standard. 2007. « Guidance for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects. » VCS Association. Washington.

- von Braun, J., A. Ahmed, K. Asenso- Okyere, S. Fan, A. Gulati, J. Hodinott, R. Pandya- Lorch, M. W. Rosegrant, M. Ruel, M. Torero, T. van Rheenen, et K. von Grebmer. 2008. *High Food Prices: The What, Who, and How of Proposed Policy Actions*. Policy Brief, International Food Policy Research Institute, Washington.
- Walter, K. M., S. A. Zimov, J. P. Chanton, D. Verbyla, et F. S. Chapin III. 2006. « Methane Bubbling from Siberian Thaw Lakes as a Positive Feedback to Climate Warming. » *Nature* 443: 71-75.
- Wardle, D. A., M- C. Nilsson, et O. Zackrisson. 2008. « Fire- derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus. » *Science* 320 (5876): 629.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change). 2009. *Future Bioenergy and Sustainable Land Use*. Londres: Earthscan.
- Westermeyer, W. 2009. « Observing the Climate for Development. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Wise, M. A., K. V. Calvin, A. M. Thomson, L. E. Clarke, B. Bond- Lamberty, R. D. Sands, S. J. Smith, A. C. Janetos, et J. A. Edmonds. 2009. *The Implications of Limiting CO₂ Concentrations for Agriculture, Land Use, Land- use Change Emissions and Bioenergy*. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory (PNNL).
- Wolf, A. T., J. A. Natharius, J. J. Danielson, B. S. Ward, et J. K. Pender. 1999. « International Basins of the World. » *International Journal of Water Resources Development* 15 (4): 387-427.
- WRI (Institut des ressources mondiales). 2008. « Climate Analysis Indicators Tool (CAIT). » Washington.
- Xia, J., L. Zhang, C. Liu, et J. Yu. 2007. « Towards Better Water Security in North China. » *Water Resources Management* 21 (1): 233-47.
- Yohe, G. W., R. D. Lasco, Q. K. Ahmad, N. Arnell, S. J. Cohen, C. Hope, A. C. Janetos, et R. T. Perez. 2007. « Perspectives on Climate Change and Sustainability. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palu-tikof, P. J. van der Linden, et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.



Comprendre les liens entre le changement climatique et le développement

Environ 2200 ans avant Jésus-Christ, la modification du régime des vents d'ouest de la Méditerranée et l'affaiblissement des moussons en Inde ont provoqué une baisse des précipitations et des températures qui a duré 300 ans et a eu de graves répercussions sur l'agriculture dans toute la région s'étendant depuis la mer Égée jusqu'à l'Indus. Ces variations climatiques ont entraîné la chute du Royaume égyptien des pharaons bâtisseurs de pyramides et de l'empire akkadien de Sargon le Grand en Mésopotamie¹. Après à peine quelques décennies de faibles précipitations, les cités bâties sur le cours septentrional de l'Euphrate, région qui fut pendant longtemps le grenier à blé des Akkadiens, ont été désertées. Dans la cité de Tell Leilan, un monument en cours de construction est resté inachevé², et les ruines de la

ville abandonnée ont été recouvertes d'une épaisse couche de poussière soulevée par les vents.

En dépit d'une organisation bureaucratique complexe et d'un système très élaboré de rationnement, les cités-États de Mésopotamie méridionale, région pourtant intensément irriguée, n'ont pas pu réagir assez vite face à ces nouvelles conditions climatiques. Privé des approvisionnements de cultures céréalières pluviales produites jusqu'alors dans le nord, et confronté à l'assèchement des champs et à l'afflux massif de migrants fuyant les cités dévastées du nord, l'empire mésopotamien a fini par s'effondrer³.

Si les sociétés ont toujours été dépendantes du climat, elles commencent seulement à comprendre que le climat est également tributaire de leurs actions. L'augmentation spectaculaire des émissions de gaz à effet de serre observée depuis la Révolution industrielle a transformé la relation entre l'homme et son environnement. En d'autres termes, si le climat influe sur le développement, le processus de développement influe lui aussi sur le climat.

Si rien n'est fait pour en gérer les effets, le changement climatique va entraîner un retour en arrière et mettre en péril les acquis du développement et le bien-être des générations présentes et futures. Il ne fait aucun doute que les températures mondiales moyennes vont continuer d'augmenter à un rythme sans précédent. Le phénomène se fera sentir partout dans le monde, mais c'est dans les pays en développement qu'il aura les plus lourdes consé-

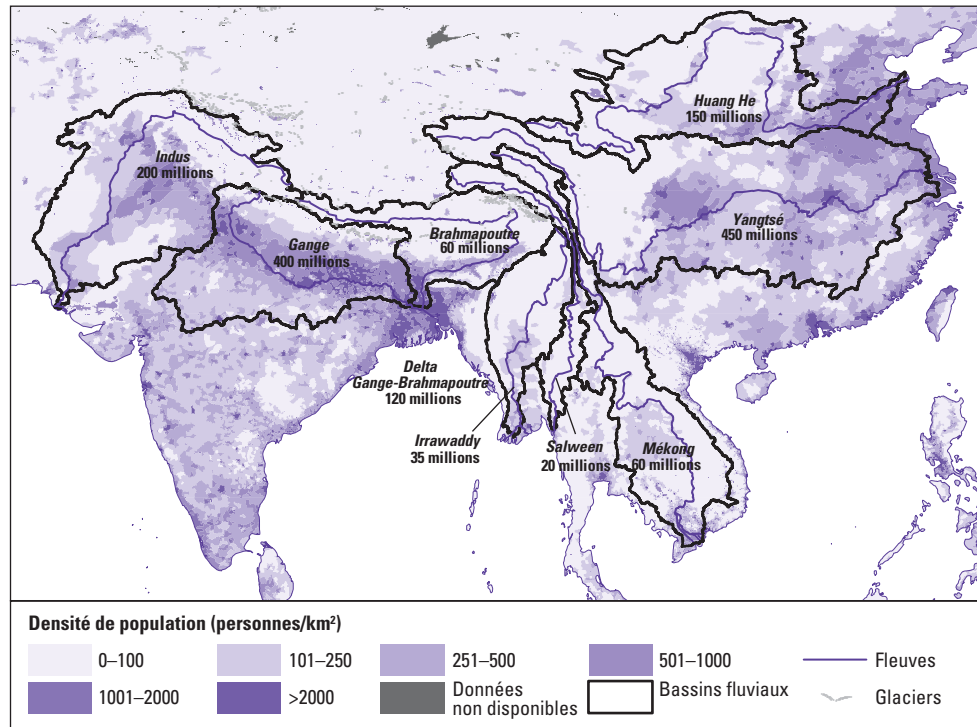
Idee force

La réalisation des objectifs de développement est compromise par le changement climatique, dont l'impact se fait plus lourdement sentir sur les pays pauvres et les populations démunies ; il ne sera toutefois possible de maîtriser le changement climatique que si les pays riches comme les pays pauvres adoptent des modes de fonctionnement à moindre intensité de gaz à effet de serre. Il nous faut agir maintenant : les décisions que prennent les pays au plan du développement détermineront le degré d'intensité de carbone des activités mondiales et l'ampleur du réchauffement futur de la planète. Si rien n'est fait, les températures pourraient augmenter de plus de 5 °C avant la fin du siècle. Et il nous faut agir ensemble : retarder la mise en œuvre de mesures d'atténuation dans les pays en développement pourrait doubler le coût des mesures nécessaires à ce titre ; c'est ce qui risque de se produire si d'importants financements ne sont pas mobilisés. En revanche, si nous agissons maintenant et ensemble, le surcoût associé au maintien du réchauffement aux environs de 2 °C sera faible et justifié au regard des dangers que poserait un changement climatique de plus grande ampleur.

Carte 1.1 Plus d'un milliard de personnes dépendent de l'eau que leur fournissent des glaciers himalayens en constant recul.

Sources : Consortium du réseau international d'information sur les sciences de la Terre (CIESIN), <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/global.jsp> (consulté le 15 mai 2009) ; Armstrong et al. 2005 ; ESRI 2002 ; équipe chargée du Rapport mondial sur le développement dans le monde.

Note : Les glaciers de l'Himalaya et du plateau tibétain régulent tout au long de l'année les apports en eau des principaux bassins fluviaux dont dépendent d'importantes populations rurales et urbaines. Par exemple, l'eau issue de la fonte des glaciers alimente le débit du Gange et de l'Indus à hauteur de 3 % et de 45 % respectivement. La réduction de la capacité de stockage de l'eau sous forme de glace ou de manteau neigeux entraînera une augmentation des débits et des inondations pendant la saison des pluies et des pénuries d'eau au cours des mois chauds et secs durant lesquels les besoins en eau du secteur agricole sont les plus importants. Seuls les glaciers de plus d'1,5 km² sont indiqués sur la carte. Les chiffres renvoient au nombre d'habitants dans chaque bassin fluvial.



quences. Des millions de personnes, du Bangladesh à la Floride, subiront les conséquences de l'élévation du niveau des mers, qui va provoquer l'inondation des zones habitées et la contamination des réserves d'eau douce⁴. La variabilité accrue du régime pluviométrique et l'aggravation des sécheresses dans les régions semi-arides d'Afrique vont freiner les efforts déployés pour renforcer la sécurité alimentaire et combattre la malnutrition⁵. La disparition accélérée des glaciers de l'Himalaya et des Andes, qui régulent le débit des rivières, produisent de l'énergie hydroélectrique et fournissent de l'eau salubre à plus d'un milliard de personnes en milieu agricole et urbain, menace à terme les moyens d'existence des populations rurales et les grands marchés alimentaires (carte 1.1)⁶.

Il faut donc prendre dès maintenant des mesures résolues. Si le débat relatif aux coûts et aux avantages de l'atténuation du changement climatique se poursuit, le constat dressé à ce jour plaide fortement en faveur d'interventions immédiates visant à éviter un accroissement des températures impossible à maîtriser. De même, le caractère inacceptable des impacts irréversibles et potentiellement catastrophiques du changement climatique et l'impossibilité de prévoir avec certitude de quelle manière et à quel moment ces impacts se manifesteront appellent des actions vigoureuses. Enfin, la forte inertie du système climatique, de l'environnement bâti et du comportement des individus et des institutions exige d'agir de toute urgence.

Au cours des deux derniers siècles, les avantages directs découlant de modes de développement à forte intensité de carbone se sont concentrés pour l'essentiel dans les pays aujourd'hui classés dans la catégorie des pays à revenu élevé. La répartition inégale des émissions mondiales de carbone passées et actuelles et des dégâts avérés et potentiels causés par le réchauffement climatique est saisissante (figure 1.1 ; voir également la figure FA.6 au Thème A et l'Abrégé). Les incitations économiques de nature à encourager un accord international existent, mais encore faut-il que les pays soient déterminés à agir.

La conjoncture actuelle est propice à l'adoption de politiques adaptées de riposte au changement climatique et de promotion du développement, mais ne le restera plus très longtemps si l'on tarde à agir. Plus les pays persisteront dans des trajectoires à forte intensité de carbone, plus il sera difficile de faire marche arrière et de modifier les infrastructures, les économies et les modes de vie. Les pays à revenu élevé doivent s'employer sans plus attendre à réduire leurs propres émissions, en adaptant leurs environnements bâtis et leurs économies. Ils doivent aussi promouvoir et financer le passage à des modes de croissance sobres en carbone dans les pays en développement. Pour relever un tel défi, il faudra appliquer de manière plus efficace des pratiques aujourd'hui connues et opérer des transformations radicales dans des domaines comme la gestion des ressources naturelles, l'approvisionnement énergétique, l'urbanisation, la protection

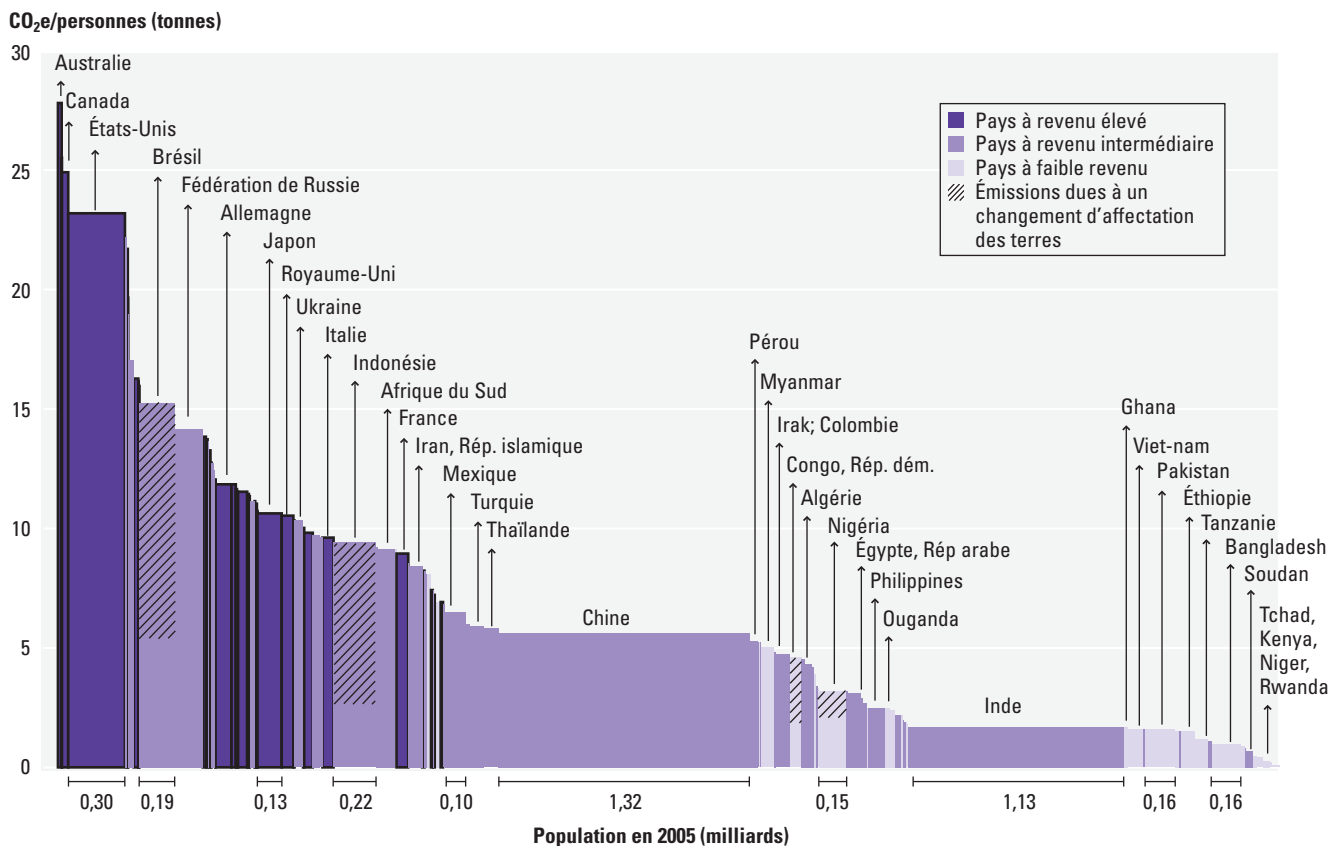
sociale, les transferts financiers internationaux, l'innovation technologique et la gouvernance, tant au plan international que national.

Le principal enjeu, pour nombre de pays du monde, consiste à offrir à la population de meilleures perspectives d'avenir et de meilleures conditions de vie tout en préservant durablement l'environnement, lors même que la planète tout entière est aux prises avec une crise financière et économique grave aux effets dévastateurs. La stabilisation des marchés financiers et la protection de l'économie réelle, des marchés du travail et des groupes vulnérables constituent une priorité immédiate. Dans le même temps, la communauté internationale doit mettre à profit cette période propice au renforcement de la coopération internationale et à la mise en œuvre d'interventions nationales pour s'attaquer aux autres problèmes de développement, parmi lesquels le changement climatique, qui revêt un caractère prioritaire.

Si rien n'est fait pour en atténuer les effets, le changement climatique sera incompatible avec un développement durable

Assurer un développement durable aux plans social, économique et environnemental est déjà un défi en soi, *a fortiori* si l'on y ajoute les problèmes liés au réchauffement climatique. La croissance économique est nécessaire, mais elle ne peut suffire à elle seule à réduire la pauvreté et à renforcer l'égalité des chances. De même, l'incapacité à préserver l'environnement menace, à terme, le progrès économique et social. Ces considérations n'ont rien de nouveau. Elles font écho à la définition du développement durable qui, plus de 20 ans après son adoption, est sans doute la plus utilisée au monde, à savoir un mode de développement visant à « répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs »⁷. Ainsi, le changement climatique non maîtrisé est, par définition, incompatible avec le développement durable.

Figure 1.1 Les émissions individuelles enregistrées dans les pays à revenu élevé sont considérablement supérieures à celles relevées dans les pays en développement



Sources : Émissions de gaz à effet de serre relevées en 2005 (Rapport sur le développement dans le monde 2008), majorées des émissions dues à un changement d'affectation des terres (Houghton 2009) ; données démographiques de la Banque mondiale 2009c.

Note : La largeur de chaque colonne représente la population ; la hauteur représente les émissions par habitant et l'aire couverte par la colonne les émissions totales. Les émissions par habitant du Qatar (55,5 tonnes de dioxyde de carbone ou d'équivalent dioxyde de carbone par habitant), des Émirats arabes unis (38,8 tonnes) et de Bahreïn (25,4 tonnes) – qui sont supérieures à la hauteur de l'axe vertical – ne sont pas indiquées. Parmi les grands pays, le Brésil, l'Indonésie, la République démocratique du Congo et le Nigéria enregistrent de faibles émissions de sources énergétiques, mais un niveau élevé d'émissions dues au changement d'affectation des terres ; la part des émissions attribuable, dans chacun de ces pays, au changement d'affectation des terres est indiquée par les hachures.

Le changement climatique menace de compromettre les acquis du développement

On estime que 400 millions de personnes ont échappé à la pauvreté entre 1990 et 2005, date des estimations les plus récentes⁸ – bien que la crise financière mondiale qui sévit actuellement et la flambée des prix des produits alimentaires enregistrée entre 2005 et 2008 aient en partie contribué à renverser la tendance⁹. Depuis 1990, les taux de mortalité infantile ont chuté, passant de 106 à 83 pour 1 000 naissances vivantes¹⁰. Dans le même temps, près de la moitié de la population des pays en développement (48 %) vit encore dans la pauvreté, avec moins de deux dollars par jour¹¹. Près d'un quart des personnes concernées, soit 1,6 milliard d'individus, n'ont pas accès à l'électricité¹² et une sur six n'a pas accès à une eau salubre¹³. Dix millions d'enfants de moins de cinq ans meurent chaque année victimes de maladies que l'on sait pourtant prévenir et traiter, comme les infections respiratoires, la rougeole et les maladies diarrhéiques¹⁴.

Au cours du dernier demi-siècle, l'exploitation des ressources naturelles (et notamment des combustibles fossiles) a favorisé l'amélioration des conditions de vie. Toutefois, lorsqu'elle conduit à la dégradation des ressources et au changement climatique, elle ne peut être viable. En privilégiant la croissance au détriment de l'environnement naturel, les hommes n'ont fait qu'accroître leur vulnérabilité aux catastrophes naturelles (voir chapitre 2). En règle générale, les plus pauvres dépendent directement des ressources naturelles pour subvenir à leurs besoins. Environ 70 % des individus en situation de pauvreté extrême vivent en zone rurale.

Sauf évolution notable de la situation démographique, la population mondiale atteindra 9 milliards d'habitants d'ici à 2050, et l'on comptera 2,5 milliards de personnes en plus dans les pays en développement. Cette poussée démographique va accentuer les pressions qui pèsent sur les écosystèmes et les ressources naturelles, intensifier la concurrence qui s'exerce sur les ressources en terres et en eau et accroître la demande d'énergie. C'est principalement dans les villes que la population va augmenter, ce qui pourrait permettre de limiter la dégradation des ressources et la consommation individuelle d'énergie. Toutefois, si l'urbanisation est mal maîtrisée, la dégradation des ressources et la consommation individuelle d'énergie pourraient au contraire augmenter, au même titre que la vulnérabilité des populations humaines.

Le changement climatique est un poids supplémentaire pour le processus de développement¹⁵, et ses impacts sont déjà visibles. Les données scientifiques les plus récentes montrent que le phénomène s'amplifie et s'accélère, et que le rythme actuel des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de l'élévation du niveau des océans est supérieur aux prévisions antérieures¹⁶. De plus, les effets des variations climatiques se font sentir plus tôt qu'on ne l'avait prévu et perturbent déjà les systèmes socioéconomiques et naturels

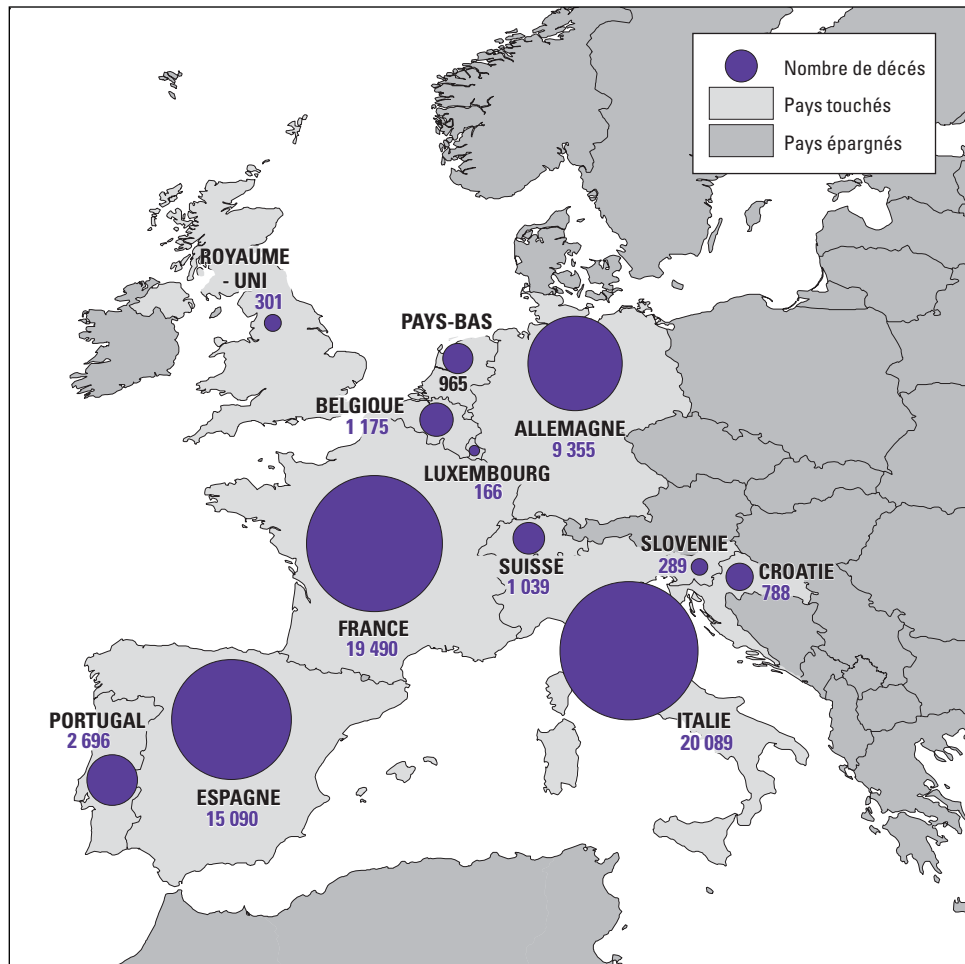
(voir Thème A sur les bases scientifiques du changement climatique)¹⁷. L'évolution des températures et des précipitations moyennes, la variabilité et l'imprévisibilité grandissantes du climat et la survenue de phénomènes climatiques de plus en plus extrêmes peuvent influencer sur les rendements agricoles, les revenus, la santé, la sécurité physique et, à terme, sur les modes et les niveaux de développement futurs.

Les conséquences du changement climatique vont se manifester dans de nombreux secteurs et environnements productifs (agriculture, foresterie, énergie, zones côtières, notamment), dans les pays développés comme dans le monde en développement. Les économies en développement seront plus durement touchées, en raison notamment de leur exposition accrue aux chocs climatiques, mais aussi de leurs faibles capacités d'adaptation. Mais aucun pays n'est à l'abri, comme en témoigne la canicule de 2003, qui a fait plus de 70 000 victimes dans une douzaine de pays européens (carte 1.2). De même, dans les forêts de l'Ouest du Canada, l'infestation de dendroctones du pin, due en partie à des hivers plus doux, a des effets dévastateurs sur l'industrie du bois et menace les moyens d'existence et la santé des communautés isolées de la région, obligeant les pouvoirs publics à investir des millions de dollars dans la mise en œuvre de stratégies d'adaptation et de prévention¹⁸. Les tentatives d'adaptation engagées à l'avenir dans les pays développés et en développement en réponse à d'autres menaces de ce type seront très coûteuses, tant au plan humain qu'économique, mais ne suffiront pas pour autant à éviter tous les dommages directement attribuables au changement climatique.

Le réchauffement climatique peut avoir un impact majeur sur le niveau et le taux de croissance du produit intérieur brut (PIB), du moins dans les pays pauvres. L'analyse des variations de températures enregistrées à l'échelle nationale d'une année sur l'autre (par rapport à la moyenne relevée dans les pays considérés) montre que, pendant les années où les températures sont anormalement clémentes, le niveau du PIB et le taux de croissance correspondant baissent dans les pays en développement¹⁹. La succession de plusieurs années chaudes devrait donc en toute logique conduire à l'adoption de mesures d'adaptation de nature à réduire les impacts économiques du réchauffement climatique. Pourtant, on constate que les pays en développement où le réchauffement est plus marqué enregistrent des taux de croissance plus faibles²⁰. Les données relatives à l'Afrique subsaharienne indiquent que la variabilité du régime pluviométrique, qui devrait augmenter sensiblement, a aussi pour effet de réduire le PIB et d'accroître la pauvreté²¹.

La productivité agricole est un des nombreux facteurs de la vulnérabilité accrue des pays en développement (voir chapitre 3, carte 3.3). En Europe du Nord et en Amérique du Nord, l'action conjuguée d'un faible réchauffement et de l'effet de fertilisation du dioxyde de carbone (CO₂) pourrait favoriser l'amélioration des rendements agricoles et la

Carte 1.2 Les pays riches ne sont pas épargnés par les anomalies climatiques : la canicule de 2003 a fait plus de 70 000 victimes en Europe



Source : Robine et al. 2008.

Note : Les décès attribués à la canicule sont ceux venus s'ajouter aux décès qui auraient été enregistrés en l'absence de canicule ; ils ont été estimés à partir de données de base sur les tendances moyennes de la mortalité.

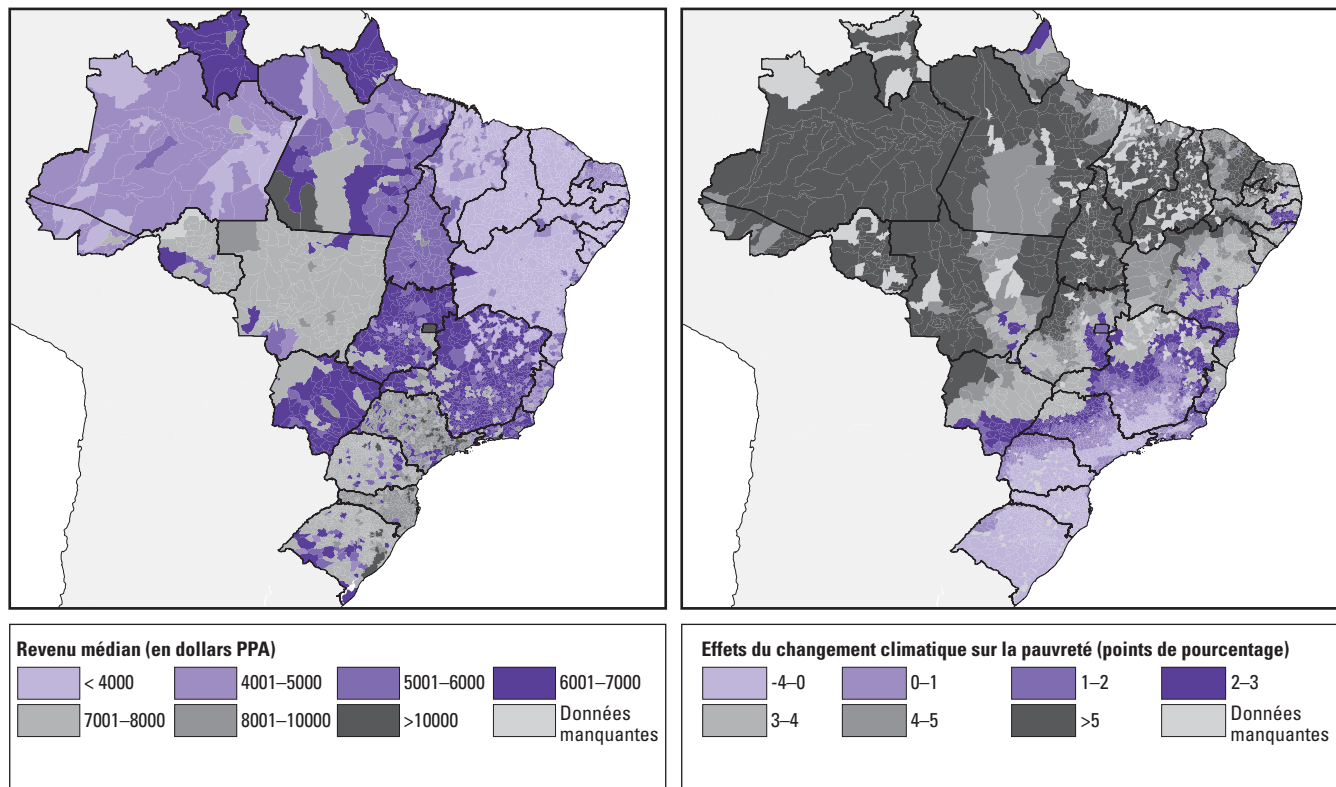
croissance des forêts²². À l'inverse, en Chine et au Japon, la production de riz, un des principaux aliments de base du monde, diminuera probablement, tandis qu'en Asie centrale et en Asie du Sud, les rendements des cultures de blé, de maïs et de riz seront très durement touchés²³. De même, les perspectives concernant la production agricole et l'élevage sur les terres semi-arides non irriguées d'Afrique subsaharienne sont d'ores et déjà très sombres, lors même que le réchauffement n'a pas encore atteint 2 à 2,5 °C au dessus des températures préindustrielles²⁴.

Le ralentissement de la productivité rizicole observé en Inde après les années 1980 (par rapport aux rendements obtenus pendant la Révolution verte des années 1960) n'est pas attribuable uniquement au recul des prix du riz et à la détérioration des infrastructures d'irrigation, comme on le pensait jusqu'à présent, mais aussi à des phénomènes climatiques défavorables liés à la pollution locale et au réchauffement mondial²⁵. On peut considérer, en s'appuyant sur les variations du climat et de la production agricole enregistrées dans le passé d'une année sur l'autre, que le rendement

des principales cultures produites en Inde devrait baisser de 4,5 à 9 % au cours des 30 prochaines années, même si des mesures d'adaptation sont prises dans le court terme²⁶. Si cette hypothèse venait à se confirmer, les incidences du changement climatique sur la pauvreté – et le PIB – pourraient être colossales, compte tenu de la croissance prévue de la population et du fait qu'une augmentation d'un point de pourcentage du PIB agricole dans les pays en développement entraîne une augmentation de 4 à 6 points de pourcentage de la consommation du tiers le plus pauvre de la population²⁷.

Les impacts du changement climatique sur la santé ne font qu'ajouter aux pertes humaines et économiques qu'il engendre, en particulier dans les pays en développement. L'Organisation mondiale de la santé estime que le changement climatique a entraîné en 2000 la perte de 5,5 millions d'années de vie corrigées du facteur d'invalidité, dont 84 % en Afrique subsaharienne et en Asie de l'Est et du Sud²⁸. À mesure que les températures augmentent, le nombre de personnes susceptibles d'être infectées par le paludisme ou la dengue augmentera également, et ce sont principalement

Carte 1.3 Le changement climatique va probablement accroître la pauvreté dans la plupart des régions du Brésil, en particulier dans les plus pauvres.



Sources : Consortium du réseau international d'information sur les sciences de la Terre (CIESIN), <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/global.jsp> (consulté le 15 mai 2009) ; Dell, Jones et Olken 2009 ; Assunção et Chein 2008.

Note : Estimations de l'impact du changement climatique sur la pauvreté au milieu du xxi^e siècle, calculées sur la base des projections faisant état d'une baisse des rendements agricoles de 18 %. La variation de la pauvreté est exprimée en points de pourcentage ; par exemple, le taux de pauvreté dans le nord-est du pays, estimé à 30 % (sur la base d'un dollar par jour pour les données de 2000), pourrait augmenter de 4 points pour atteindre 34 %. Ces estimations tiennent compte de la migration interne, l'impact du changement climatique sur la pauvreté des migrants étant comptabilisé dans la municipalité d'origine.

les pays en développement qui supporteront le poids de ces maladies²⁹. Par ailleurs, on a pu établir une forte corrélation entre l'incidence des sécheresses, qui devrait augmenter au Sahel comme ailleurs, et les épidémies de méningite survenues dans le passé en Afrique subsaharienne³⁰. Dans certaines régions, la baisse des rendements agricoles va entraîner une aggravation de la malnutrition, ce qui réduira la capacité des populations à résister à la maladie. La charge de morbidité des maladies diarrhéiques attribuables aux seuls effets du changement climatique pourrait augmenter de 5 % d'ici à 2020 dans les pays où le revenu par habitant est inférieur à 6 000 dollars par an. L'élévation des températures devrait aussi accroître l'incidence des pathologies cardiovasculaires, en particulier dans les régions tropicales, mais aussi dans les pays situés à des latitudes plus élevées (et dans lesquelles les revenus sont plus importants), ce qui réduirait à néant les avancées découlant de la diminution du nombre de décès liés au froid³¹.

Si toutes les catégories de revenus peuvent ressentir les effets défavorables de l'évolution du climat, de la variabilité climatique et des chocs qu'elles engendrent, les personnes et les communautés aisées peuvent malgré tout gérer plus

facilement les difficultés qui en résultent (carte 1.3). Lorsque l'ouragan Mitch a balayé le Honduras en 1998, il a frappé plus de ménages aisés que de ménages pauvres, mais les foyers modestes ont été proportionnellement plus durement touchés et ont perdu entre 15 et 20 % de leurs biens, contre 3 % seulement pour les ménages les plus riches³². Les impacts à plus long terme ont également été plus importants : on a observé dans tous les ménages un ralentissement de l'accumulation de biens, qui s'est toutefois avéré plus marqué dans les foyers les plus modestes³³. De plus, les hommes et les femmes n'ont pas ressenti de la même manière les impacts de l'ouragan (encadré 1.1) : les ménages dirigés par des hommes, qui ont pu trouver plus rapidement du travail et un nouveau logement, ont passé moins de temps dans les abris mis à la disposition des sinistrés que les ménages dirigés par des femmes, qui ont dû lutter pour se remettre de la catastrophe³⁴.

Les effets conjugués du changement climatique, de la dégradation de l'environnement et de la défaillance des marchés et des institutions pourraient enclencher un cycle de pauvreté que l'effondrement progressif des écosystèmes côtiers, l'imprévisibilité accrue des précipitations ou une

ENCADRÉ 1.1 *Les femmes qui accèdent à l'autonomie contribuent à renforcer l'efficacité des actions d'adaptation et d'atténuation*

Les femmes et les hommes ne ressentent pas de la même manière les effets du changement climatique. Les impacts du changement climatique et les politiques climatiques n'ont pas les mêmes conséquences pour les hommes et les femmes, dans la mesure où la vulnérabilité aux effets du changement climatique, tout comme les responsabilités et les capacités en matière d'atténuation et d'adaptation, varient en fonction du sexe. La vulnérabilité des hommes et des femmes s'exprime différemment, en fonction de paramètres tels que la valeur des biens possédés et les droits à la propriété, l'accès aux services financiers, le niveau d'instruction, l'appartenance à des réseaux sociaux et la participation aux activités d'organisations locales. Dans certaines circonstances, les femmes sont particulièrement vulnérables aux menaces que les chocs climatiques font peser sur leurs moyens d'existence et leur sécurité physique. Pourtant, certaines données montrent que, lorsque les hommes et les femmes jouissent des mêmes droits économiques et sociaux, ils subissent de la même manière les effets des catastrophes. L'autonomisation des femmes et leur participation à la prise de décision peuvent conduire à une amélioration des conditions environnementales et des moyens d'existence qui profite à l'ensemble de la communauté.

La participation des femmes à la gestion des catastrophes peut sauver des vies

La participation des femmes aux opérations de préparation aux catastrophes et de relèvement peut contribuer à améliorer le bien-être de la collectivité avant, pendant et après un événement climatique extrême. Contrairement à d'autres communautés dans lesquelles on a recensé de nombreux décès, le village de La Masica, au Honduras, n'a déploré aucune victime ni pendant, ni après le passage de l'ouragan Mitch, en 1998. Six mois plus tôt, un organisme de secours avait entrepris des actions d'éducation communautaire axées sur les systèmes d'alerte précoce, en s'efforçant de promouvoir la parité hommes-femmes. Si hommes et femmes ont participé en un premier temps aux activités de gestion des risques, ce sont les femmes qui ont

assuré par la suite le suivi continu du système d'alerte précoce. Leur plus grande conscience des risques et leurs capacités renforcées de gestion ont permis à la municipalité d'évacuer rapidement le village. De même, les enseignements qui se dégagent des opérations de relèvement post-catastrophe indiquent que, lorsque la gestion des systèmes de distribution des vivres est confiée aux femmes, il y a moins de corruption, et les vivres sont distribués de manière plus équitable.

La participation des femmes contribue à enrichir la biodiversité et à améliorer la gestion de l'eau

Entre 2001 et 2006, un programme de lutte contre le déboisement mis en œuvre par des femmes dans la localité de Zammour, en Tunisie, a contribué à l'extension des terres sous couvert végétal, à la préservation de la diversité biologique locale et à la stabilisation des terres érodées de l'écosystème montagneux. Les femmes ont été invitées à donner leur avis lors des réunions de consultation organisées dans le cadre du programme, et leurs connaissances en matière de gestion des ressources en eau ont été prises en compte. Le programme a notamment permis d'évaluer et d'appliquer des méthodes innovantes et efficaces de collecte et de conservation de l'eau de pluie, comme l'aménagement de poches de pierre enfouies dans le sol pour réduire l'évaporation de l'eau d'irrigation et la plantation d'espèces locales d'arbres fruitiers pour stabiliser les terres érodées.

La participation des femmes renforce la sécurité alimentaire et favorise la protection des forêts

Depuis 2001, des femmes ont planté 400 000 noyers à pain (*Brosimum alicastrum*) au Guatemala, au Nicaragua, à El Salvador et au Honduras. Le projet, qui a permis de renforcer la sécurité alimentaire des femmes et de leurs familles, présente aussi des avantages liés au financement de la lutte contre le changement climatique, puisque Equilibrium Fund, qui parraine cette initiative, travaille à la mise en place d'un mécanisme d'échange de permis d'émissions avec les États-Unis et l'Europe. Au Zimbabwe, plus de la moitié des 800 000 ménages vivant en milieu communautaire sont dirigés par des

femmes. Regroupées en associations, les femmes assurent la gestion des ressources forestières et de projets de développement axés notamment sur la plantation d'arbres, la création de pépinières, l'accession des femmes à la propriété de parcelles forestières et la gestion de ces parcelles. Au moins la moitié des travailleurs agricoles du monde sont des femmes ; aujourd'hui encore, ce sont dans une large mesure les femmes et les filles qui sont chargées des corvées de collecte de bois et d'eau. Le potentiel d'adaptation et d'atténuation, en particulier dans les secteurs agricole et forestier, ne pourra se concrétiser pleinement que si le savoir-faire et les connaissances traditionnelles dont les femmes sont détentrices en matière de gestion et d'utilisation rationnelle des ressources naturelles sont mis à profit.

La participation des femmes influe favorablement sur la santé publique

En Inde, les peuples autochtones utilisent à des fins thérapeutiques des herbes et des arbustes aux propriétés médicinales. Les femmes, de par leur rôle de gardiennes de la nature, détiennent des connaissances particulières en la matière et peuvent identifier près de 300 espèces forestières utiles. Partout dans le monde, en Amérique centrale comme en Afrique du nord, en Asie du Sud ou en Afrique australe, les programmes d'adaptation et d'atténuation soucieux de promouvoir la parité hommes-femmes donnent d'ores et déjà des résultats mesurables : la pleine participation des femmes à la prise de décision peut et va sauver des vies, en favorisant la protection de ressources naturelles fragiles, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et le renforcement de la capacité de résistance des générations actuelles et futures. Les mécanismes et les financements mis en place à l'appui des actions de prévention, d'adaptation et d'atténuation ne suffiront pas s'ils ne reposent pas sur la pleine participation des femmes à la conception et à la mise en œuvre des interventions et à la prise des décisions s'y rapportant.

Sources : Informations obtenues de Nilufar Ahmad, d'après Parikh 2008 ; Lambrou et Laub 2004 ; Neumayer et Plumper 2007 ; Smyth 2005 ; Aguilar 2006 ; UNISDR 2007 ; PNUD 2009 ; et Martin 1996.

saison cyclonique particulièrement difficile suffirait à accélérer³⁵. Si les catastrophes naturelles de grande ampleur ont les effets les plus visibles, des chocs plus modestes mais répétés ou des modifications subtiles de la répartition des précipitations annuelles pourraient aussi réduire de manière soudaine mais néanmoins persistante le bien-être des populations.

Les preuves empiriques du cercle vicieux de la pauvreté – qui s'entend d'un niveau de consommation *constamment* inférieur à un seuil donné – sont mitigées³⁶. Toutefois, des données croissantes montrent que dans les communautés pauvres touchées par des chocs climatiques, les ménages mettent beaucoup plus de temps à se reconstituer un patrimoine, et que la croissance du capital humain ne reprend que très lentement. En Éthiopie, une saison de très faibles précipitations a suffi à réduire la consommation dans des proportions telles que les effets s'en faisaient encore sentir quatre à cinq ans plus tard³⁷. Au Brésil, des épisodes de sécheresse ont entraîné dans certaines régions une réduction massive des salaires versés aux ouvriers agricoles, qui ont dû attendre cinq ans avant de percevoir à nouveau le même salaire que les ouvriers de régions non affectées³⁸.

Dans le même temps, l'accès limité au crédit, à l'assurance et aux garanties prive les ménages les plus pauvres des moyens de réaliser des investissements productifs ou les conduit à choisir des investissements à faible risque et à rendement peu élevé afin de se prémunir contre tout choc futur³⁹. Dans les villages d'Inde, les agriculteurs pauvres ont tenté d'atténuer les risques liés aux aléas climatiques en investissant dans des biens et des technologies peu sensibles aux variations du régime pluviométrique, mais qui offrent des rendements moyens très faibles, ce qui contribue à perpétuer les inégalités dans le pays⁴⁰.

Les chocs climatiques peuvent aussi avoir un impact permanent sur la santé et l'éducation. Des recherches menées en Côte d'Ivoire sur le lien entre le régime pluviométrique et les investissements consacrés à l'éducation montrent que, dans les régions où la variabilité météorologique a été supérieure à la normale, les taux de scolarisation des garçons et des filles ont diminué de 20 %⁴¹. Lorsqu'ils sont associés à d'autres problèmes, les chocs environnementaux peuvent avoir des effets durables. Ainsi, au Zimbabwe, on a constaté que les personnes ayant vécu la sécheresse et la guerre civile dans leur petite enfance (entre l'âge de 12 et de 24 mois) mesuraient 3,4 cm de moins que la moyenne, avaient perdu presque une année scolaire et avaient été scolarisés avec près de six mois de retard. On estime par ailleurs que ces phénomènes ont entraîné une diminution de 14 % de leurs revenus sur toute leur durée de vie, ce qui est considérable pour des individus proches du seuil de pauvreté⁴².

Équilibrer la croissance et évaluer les politiques face au changement climatique

Croissance : évolution de l'empreinte carbone et de la vulnérabilité À l'horizon 2050, une proportion importante de la population des pays qui sont actuellement en développement bénéficiera d'un mode de vie caractéristique des classes moyennes. Or, la planète ne pourra subvenir aux besoins de 9 milliards de personnes ayant une empreinte carbone identique à celle des classes moyennes d'aujourd'hui. Il faudrait pour cela pratiquement tripler les émissions annuelles de carbone. En outre, le développement n'entraîne pas nécessairement un renforcement de la capacité de résistance au changement climatique : la croissance pourrait ne pas être assez rapide et accentuer la vulnérabilité de certains groupes, même si d'autres voient leur situation s'améliorer. De même, des politiques climatiques mal adaptées pourraient compromettre le développement durable.

Il est néanmoins inacceptable, tant du point de vue éthique que politique, de priver les pauvres de la possibilité d'accroître leurs revenus au seul motif que les riches ont atteint les premiers le sommet de l'échelle. Les pays en développement produisent actuellement près de la moitié des émissions annuelles de gaz à effet de serre, mais abritent près de 85 % de la population mondiale ; dans les pays à revenu faible et intermédiaire, l'empreinte carbone du citoyen moyen en matière de production d'énergie est de 1,3 et 4,5 tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (CO₂e) respectivement, contre 15,3 dans les pays à revenu élevé⁴³. De plus, les émissions passées – en d'autres termes, le stock existant de gaz à effet de serre dans l'atmosphère – sont imputables pour l'essentiel aux pays développés⁴⁴. En conséquence, pour écarter la menace que le changement climatique fait peser sur le bien-être de l'humanité, il faudra non seulement inventer des modes de développement intelligents sur le plan climatique – de manière à accroître les revenus et la capacité de résistance aux variations du climat tout en réduisant les émissions par rapport aux augmentations prévues – mais aussi trouver des solutions intelligentes au plan climatique pour préserver la prospérité des pays développés, en renforçant leur résistance au changement climatique et en réduisant, en valeur absolue, leurs émissions de carbone.

Les données dont on dispose montrent que les politiques peuvent influencer fortement sur la manière dont l'empreinte carbone évolue par suite de l'augmentation des revenus⁴⁵. Dans les pays riches, notamment les pays producteurs de pétrole et les petits États insulaires, l'empreinte carbone moyenne des citoyens varie du simple au duodécuple, tout comme l'intensité énergétique du PIB⁴⁶, ce qui tend à indiquer que l'empreinte carbone n'augmente pas systématiquement avec les revenus. Par ailleurs, les économies en développement d'aujourd'hui consomment beaucoup moins d'énergie par habitant que l'ont fait en leur temps, à revenu

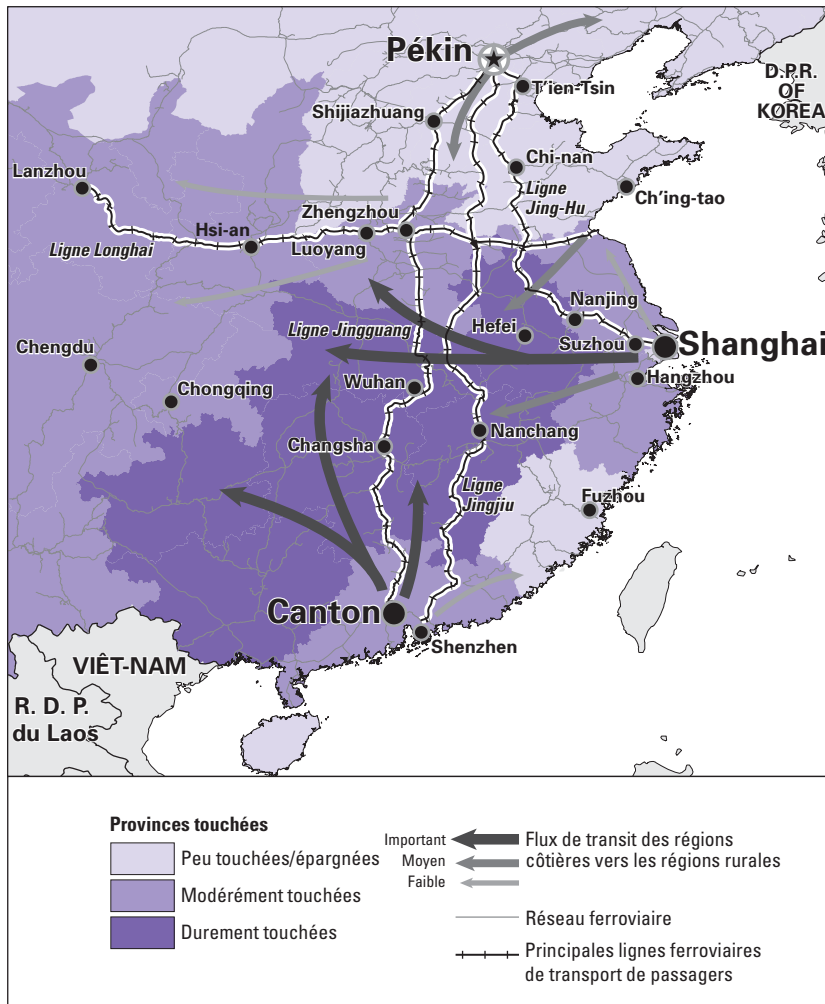
égal, des pays développés comme les États-Unis, ce qui met en évidence tout le potentiel lié aux modèles de croissance plus sobres en carbone⁴⁷.

L'adaptation et l'atténuation doivent être intégrées à une stratégie de développement intelligente sur le plan climatique ayant pour objectif d'accroître la résistance au changement climatique, de réduire le risque d'une intensification du réchauffement planétaire et d'améliorer les résultats obtenus en matière de développement. Les mesures d'adaptation et d'atténuation peuvent promouvoir le développement, et la prospérité peut favoriser l'augmentation des revenus et le renforcement des institutions. Une population en bonne santé vivant dans des habitations mieux conçues et ayant accès à des prêts bancaires et à des dispositifs de protection sociale est mieux armée pour faire face aux changements climatiques et à ses conséquences. Il faut donc encourager la mise en œuvre de politiques de développement robustes et résolues visant à promouvoir l'adaptation, et s'y employer dès

maintenant : le changement climatique est déjà une réalité et ne peut que s'accroître, y compris à brève échéance.

L'accès progressif des nations à la prospérité économique s'est toujours accompagné d'un processus d'adaptation à l'évolution des conditions écologiques. Mais à mesure que la croissance modifie l'environnement et que le changement environnemental s'accélère, la croissance durable et l'adaptabilité exigent une plus grande aptitude à comprendre l'environnement, à élaborer de nouvelles technologies et pratiques évolutives et à les diffuser largement. Comme l'ont expliqué les historiens de l'économie, l'humanité consacre une grande partie de son potentiel créatif à s'adapter à un monde en constante évolution⁴⁸. Mais il ne suffit pas de s'adapter pour être à même de faire face à tous les impacts du changement climatique, et en particulier des changements de grande ampleur qui s'inscrivent dans le long terme (voir chapitre 2)⁴⁹.

Carte 1.4 Les tempêtes de neige qui ont frappé la Chine en janvier 2008 ont gravement perturbé les transports, pilier de la croissance économique du pays



Sources : ACASIAN 2004 ; Chan 2008 ; Huang et Magnoli 2009 ; Service agricole extérieur du Département de l'agriculture des États-Unis (USDA), Commodity Intelligence Report, 1^{er} février 2008, <http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2008/02/MassiveSnowStorm.htm> (consulté le 14 juillet 2009) ; Ministère des communications de la République populaire de Chine, «The Guarantee Measures and Countermeasures for Extreme Snow and Rainfall Weather », 1^{er} février 2008, <http://www.china.org.cn/e-news/news080201-2.htm> (consulté le 14 juillet 2009).

Note : La largeur des flèches représente le volume du trafic voyageurs pendant les fêtes du Nouvel an chinois, calculé en inversant les flux estimés de migration de main-d'œuvre. Selon ces estimations, le nombre de migrants internes serait compris entre 130 millions et 180 millions. La gravité estimée de l'impact des intempéries a été calculée sur la base des précipitations cumulées relevées au mois de janvier et des informations diffusées par les médias et par les pouvoirs publics pendant les tempêtes.

Au rythme où se produit le changement climatique, les pays n'auront pas assez de temps pour se mettre à l'abri du danger. De plus, certaines stratégies de croissance, qu'elles relèvent des pouvoirs publics ou des marchés, peuvent accroître la vulnérabilité au changement climatique, en particulier si elles reposent sur une surexploitation des ressources naturelles. Durant l'ère soviétique, la culture irriguée du coton, entreprise dans le cadre du plan national de développement, a été étendue aux régions souffrant de stress hydrique d'Asie centrale et a conduit à la disparition de la quasi-totalité de la mer d'Aral, menaçant les moyens d'existence des pêcheurs, des éleveurs et des agriculteurs de la région⁵⁰. Dans le même ordre d'idée, les mangroves – qui tiennent lieu de barrières naturelles protégeant les zones côtières des ondes de tempête – ont été détruites pour faire place à l'élevage intensif de la crevette ou à des lotissements résidentiels, ce qui n'a fait qu'accroître la vulnérabilité physique des établissements humains côtiers, que ce soit en Guinée ou en Louisiane.

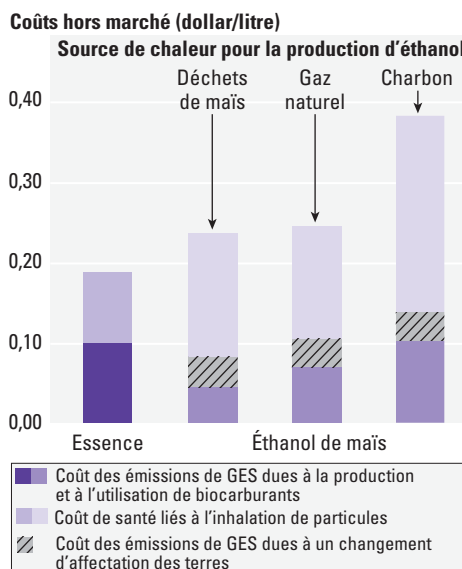
Les chocs climatiques peuvent mettre à rude épreuve des infrastructures parfaitement efficaces en situation normale ou révéler des faiblesses institutionnelles jusqu'alors passées inaperçues, y compris dans les pays à revenu élevé et en rapide croissance. À titre d'exemple, en dépit de plus de deux décennies d'une croissance économique impressionnante, et en partie du fait des transitions qui en ont résulté sur le marché du travail, des millions de travailleurs migrants se sont retrouvés bloqués en Chine pendant les violentes tempêtes de neige qui se sont brusquement abattues sur le pays en janvier 2008 (carte 1.4). Les intempéries ont littéralement paralysé le réseau ferroviaire au moment où les travailleurs migrants rentraient chez eux pour célébrer le Nouvel an chinois, et des millions de personnes se sont retrouvées bloquées, tandis que les provinces du sud et du centre du pays étaient touchées par des pénuries alimentaires et des coupures de courant. L'ouragan Katrina a montré que les États-Unis n'étaient ni prêts ni équipés pour faire face à une telle catastrophe, et que des décennies de prospérité ne débouchent pas systématiquement sur la mise en place de dispositifs efficaces de planification (et, par voie de conséquence, d'adaptation). De même, le fait que les revenus moyens soient élevés ne garantit pas nécessairement la protection des communautés les plus démunies.

Politiques d'atténuation – pour le meilleur ou pour le pire
Les politiques d'atténuation peuvent être mises à profit pour générer d'autres avantages économiques en complément de ceux découlant de la réduction des émissions, et peuvent aussi offrir des possibilités aux plans local et régional. Ainsi, le Brésil pourrait à l'avenir devenir un des principaux fournisseurs d'énergie du monde grâce aux biocarburants – la production brésilienne d'éthanol a plus que doublé depuis le début des années 2000⁵¹. De même, le

potentiel hydroélectrique encore inexploité de la planète est concentré en grande partie dans les pays en développement, et en particulier en Afrique subsaharienne (carte 1.5). L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, qui bénéficient d'un ensoleillement important pendant toute l'année, pourraient tirer parti de l'augmentation de la demande d'énergie solaire en Europe (voir chapitre 4, encadré 4.15)⁵². Pourtant, l'atout que la production d'énergies renouvelables représente pour de nombreux pays n'est pas encore exploité de manière optimale, comme en témoigne la multiplication des projets de production d'électricité solaire en Europe du Nord, plutôt qu'en Afrique du Nord.

Mais les politiques d'atténuation peuvent aussi être peu judicieuses et réduire le bien-être des populations si leurs effets secondaires potentiels ne sont pas pris en compte dans leur conception et leur mise en œuvre. Si on la compare à la production d'éthanol cellulosique, moins polluante, voire à la production d'essence, la production de biocarburants à base de maïs aux États-Unis a un coût supérieur pour la santé du fait de la pollution qu'elle engendre à l'échelle locale, et les réductions des émissions de CO₂ qui en résultent ne sont guère concluantes (figure 1.2)⁵³. De plus, les politiques de promotion des biocarburants mises en œuvre aux États-Unis et en Europe ont entraîné une réorientation des intrants vers la production de carburants au détriment de la production

Figure 1.2 Aux États-Unis, les biocarburants à base de maïs produisent davantage d'émissions de CO₂ et génèrent des coûts de santé plus élevés que l'essence



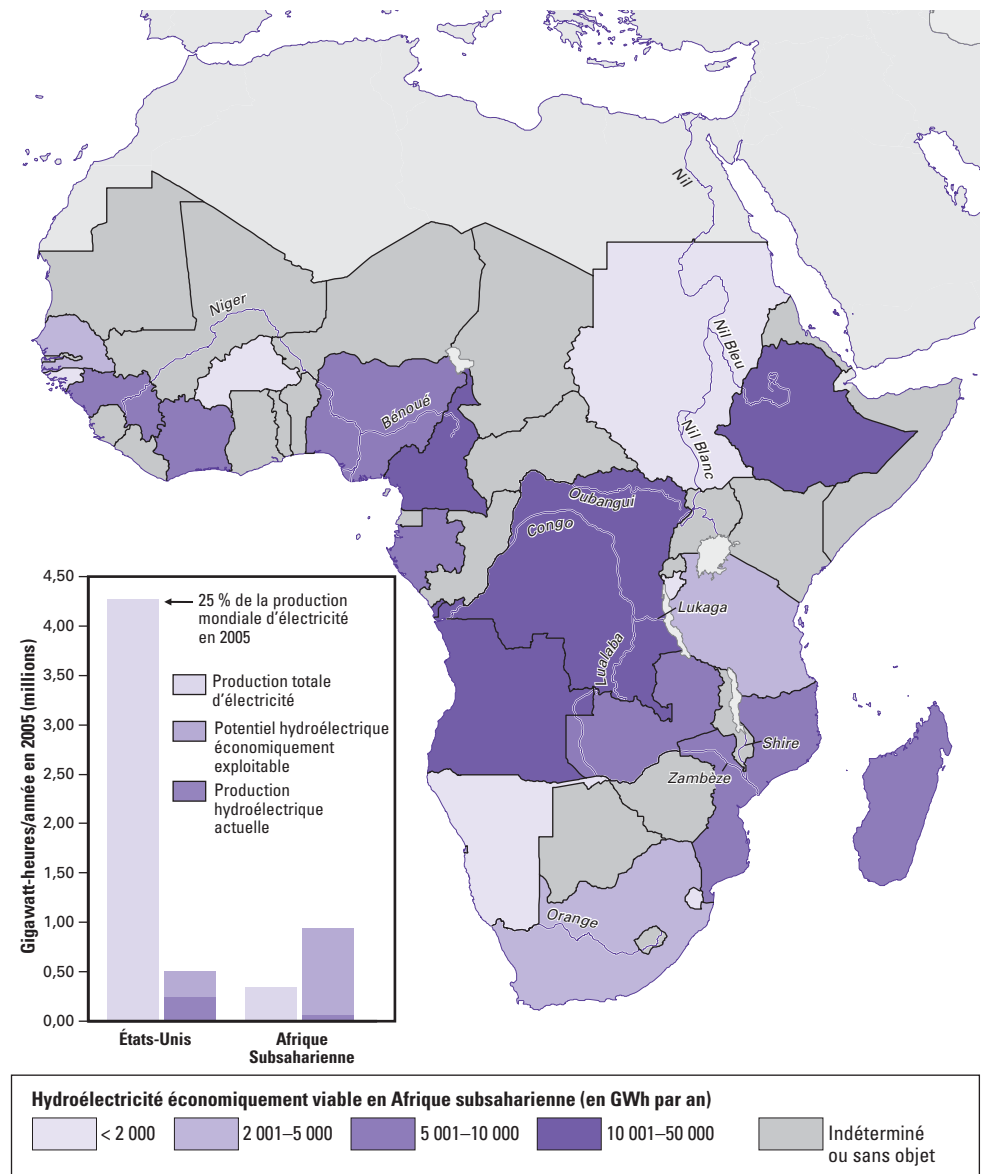
Source : Hill et al. 2009.

Note : Les coûts sont exprimés en dollars par litre d'essence ou d'équivalent essence. Les coûts pour la santé (indiqués en mauve) sont des estimations du coût pour la santé des émissions de matières en suspension issues de la production et de la combustion finale d'un litre supplémentaire d'éthanol. Le coût des émissions de gaz à effet de serre est établi à partir d'un prix du carbone de 120 dollars la tonne, calculé sur la base du coût estimé du piégeage et du stockage du carbone. Une part (indiquée par les hachures obliques) des émissions de GES liées à la production d'éthanol de maïs est due au défrichage, à la conversion ou à la mise en culture des terres.

Sources : International Journal on Hydropower and Dams, World Atlas, 2006 (<http://hydropower-dams.com>, consulté le 9 juillet 2009) ; AIE, bilans énergétiques des pays membres de l'OCDE, 2008 ; et AIE, bilans énergétiques des pays non-membres de l'OCDE, 2007 (http://www.oecd.org/document/10/0,3343,en_21571361_33915056_39154634_1_1_1_1,00.html, consulté le 9 juillet 2009).

Note : Le potentiel hydroélectrique des États-Unis est exploité à 50 %, celui des pays d'Afrique subsaharienne à hauteur de 7 à 8 % seulement. La production électrique totale des États-Unis est indiquée pour rendre compte des échelles considérées.

Carte 1.5 L'Afrique dispose d'un énorme potentiel hydroélectrique encore inexploité, alors que les ressources hydroélectriques des États-Unis présentent un potentiel plus faible, mais plus exploité.



vivrière, ce qui a contribué à la hausse mondiale des prix des produits alimentaires⁵⁴. Or de telles flambées des prix alimentaires entraînent souvent une augmentation des taux de pauvreté⁵⁵. Leur impact global sur la pauvreté est fonction de la structure de l'économie, au sens où les producteurs nets tirent profit de la hausse des prix, alors que les acheteurs nets voient leur situation se dégrader. Nombre de pays à excédent vivrier comme l'Argentine, l'Inde et l'Ukraine ont réagi en interdisant les exportations de certains produits et en prenant des mesures protectionnistes qui ont réduit les revenus des producteurs nationaux, les approvisionnements céréaliers et les possibilités de trouver à l'avenir des solutions commerciales au problème⁵⁶.

Le lien entre politiques commerciales et politiques d'atténuation n'est pas toujours facile à établir. D'aucuns ont proposé de comptabiliser dans les émissions de CO₂ des pays de destination les émissions liées aux produits exportés, de manière à ne pas pénaliser les pays exportateurs qui se spécialisent dans la fabrication de produits industriels lourds consommés par d'autres. Mais, si les importateurs décidaient d'appliquer des taxes sur le contenu en carbone des produits importés de manière à mieux répartir le prix du carbone, il en résulterait pour les pays exportateurs une perte de compétitivité qui leur serait très préjudiciable (voir Thème C sur le commerce et le changement climatique).

Écotaxes On verra au chapitre 6 que les taxes carbone peuvent être un moyen très efficace de lutter contre les émissions de carbone. Cela étant, l'intégration d'une écotaxe au régime fiscal en place (afin de couvrir le coût environnemental des émissions de carbone) pourrait avoir des effets régressifs selon la structure économique du pays considéré, la qualité du ciblage de cette taxe et la manière dont la charge est répartie. Au Royaume-Uni, le prélèvement d'une taxe carbone touchant de la même manière tous les ménages serait extrêmement régressif, comme le confirment les conclusions d'études menées dans d'autres pays membres de l'OCDE⁵⁷, puisque les ménages les plus modestes consacrent aux dépenses en énergie une part plus importante de leur budget que les ménages les plus aisés. On pourrait cependant remédier au caractère régressif de la taxe en établissant un barème progressif, ou en mettant en place un programme ciblé qui s'appuierait sur les mécanismes établis dans le cadre de la politique sociale⁵⁸.

Dans les pays en développement, on pourrait même envisager d'appliquer un impôt écologique progressif, comme le préconise une étude réalisée récemment en Chine. La plupart des ménages chinois pauvres vivent en zone rurale et consomment des produits dont l'intensité de carbone est largement inférieure à celle des produits consommés par les ménages urbains plus aisés. Si les revenus tirés d'une taxe carbone étaient réinjectés dans l'économie et répartis uniformément entre tous les habitants, la progressivité de la taxe carbone serait encore plus marquée⁵⁹.

Il ne sera pas facile d'obtenir le soutien politique nécessaire à la mise en place d'une fiscalité écologique et de faire en sorte qu'elle n'ait pas d'effets défavorables sur les pauvres. Le recyclage des recettes dégagées grâce aux écotaxes sera primordial pour les pays d'Amérique latine et d'Europe orientale, où une vaste proportion de pauvres vit en milieu urbain et serait directement touchée par ce nouvel impôt. Toutefois, ce recyclage des recettes et le ciblage des écotaxes que préconise l'étude sur le Royaume-Uni suppose un engagement résolu en faveur d'une telle réforme, ce qui est difficilement envisageable dans les nombreux pays en développement où la pratique consistant à subventionner le secteur énergétique et d'autres services d'infrastructure est profondément ancrée dans les milieux politiques. Si les recettes ne sont pas recyclées, l'impact de la tarification du carbone ou de l'application d'écotaxes, même si elles sont progressives, sera probablement préjudiciable aux plus pauvres, dans la mesure où les ménages modestes consacrent jusqu'à 25 % de leurs revenus à l'électricité, à l'eau et aux transports. Ces mesures seront, en outre, probablement difficile à mettre en œuvre sur le plan politique car les ménages à revenus intermédiaires consacrent eux aussi près de 10 % de leurs revenus à ces services⁶⁰.

Les plus pauvres verront également leurs revenus diminuer en valeur réelle dans le court terme, puisque les coûts

initiaux plus élevés de la construction et de l'exploitation d'infrastructures moins polluantes et de la fourniture de services plus écologiques se feront sentir du côté de l'offre⁶¹. L'introduction d'une écotaxe aurait un impact direct sur les ménages (du fait de la hausse des prix de l'énergie qu'elle entraînerait), mais aussi un effet indirect (sur les dépenses totales des ménages, compte tenu de la hausse des coûts de production et, partant, des prix des biens de consommation). Selon une étude réalisée à Madagascar, les écotaxes pourraient être indirectement responsables, à hauteur de 40 %, de la dégradation des conditions de vie des ménages imputable à l'augmentation des prix des produits alimentaires, des textiles et des transports⁶². Les projections montrent que, en dépit de la hausse de la consommation directe de services d'infrastructure par les classes moyennes, le quintile le plus pauvre subirait les pertes de revenus les plus importantes en valeur réelle.

Cela étant, il ne fait aucun doute que les structures des tarifs et des subventions de l'énergie pourraient être améliorés partout dans le monde, de manière à favoriser un meilleur recouvrement des coûts tout en avantageant les plus pauvres⁶³. Il semble désormais utile (compte tenu du changement climatique) et matériellement envisageable (grâce aux recettes tirées des écotaxes) d'étendre les dispositifs de garantie de ressources aux pays dans lesquels la tarification de l'énergie et de l'eau fait désormais partie intégrante des politiques sociales. Une meilleure maîtrise de l'énergie entraîne une réduction des coûts qui profite à tous ; dans le même temps, les technologies moins polluantes peuvent être moins coûteuses que les technologies traditionnelles à forte intensité de carbone. À titre d'exemple, l'utilisation de cuisinières à bois améliorées dans les zones rurales du Mexique pourrait entraîner une réduction des émissions de 160 millions de tonnes de CO₂ au cours des 20 prochaines années, ce qui représenterait (du fait de la baisse du coût direct de l'énergie et de l'amélioration de la santé des populations) un gain économique net de 8 à 24 dollars par tonne d'émission de CO₂ évitée⁶⁴.

Évaluer les arbitrages à opérer

S'il est désormais acquis que le changement climatique appelle des mesures d'atténuation, l'ampleur et le degré d'urgence de ces mesures font encore débat. Pour maintenir les températures mondiales moyennes en deçà du seuil de danger» (voir Thème A sur les bases scientifiques du changement climatique), il faudrait prendre des mesures immédiates et de dimension mondiale – des mesures coûteuses – pour réduire les émissions de 50 à 80 % d'ici à 2050 par rapport aux niveaux indiqués par les projections.

Il ressort d'études de plus en plus nombreuses que l'adoption de mesures d'atténuation immédiates et de grande ampleur se justifie d'autant plus si l'on tient compte : de l'inertie inhérente au système climatique, en d'autres

termes, du fait que les effets cumulés du changement climatique se manifestent lentement mais sont, dans une très large mesure, irréversibles ; de l'inertie de l'environnement bâti, qui implique un coût de réduction des émissions plus élevé à l'avenir si l'on continue de mettre en place aujourd'hui des équipements fixes produisant des émissions importantes ; et des avantages qu'il y a à réduire les incertitudes grandissantes et le risque d'événements catastrophiques associés à la hausse des températures⁶⁵.

La riposte au changement climatique, quelle qu'en soit la nature, suppose de bien peser les avantages et les inconvénients, les forces et faiblesses, les avantages et les coûts des différentes options envisageables. La question est de savoir *comment* cette évaluation doit être entreprise. L'analyse coûts-avantages est à cet égard un outil essentiel à l'évaluation des stratégies, dans un contexte inévitablement marqué par des priorités concurrentielles et des ressources limitées. Mais l'analyse, du seul point de vue monétaire, des coûts et avantages peut facilement conduire à négliger l'importance des biens et services environnementaux non commerciaux, et s'avère de surcroît impossible dès lors que les incertitudes relatives aux risques futurs (et à l'attitude à adopter face à ces risques) sont trop importantes.

D'autres outils de décision s'imposent, en complément de l'analyse coût-avantages, pour définir des objectifs généraux et des risques acceptables. Les approches reposant sur des critères multiples peuvent aider à mieux cerner les arbitrages à opérer, lesquels ne peuvent pas tous être exprimés en termes monétaires. Compte tenu de la nécessité de réduire les risques et des incertitudes relatives aux aléas climatiques futurs, l'approche dite de la « fenêtre de tolérance » peut aider à définir des trajectoires permettant de maintenir les émissions dans les limites convenues du risque acceptable, et à en estimer le coût⁶⁶. La « prise de décisions robustes » peut également aider à recenser les stratégies permettant de se prémunir contre des événements préjudiciables⁶⁷.

Analyse coûts-avantages : un débat qui ne se résume pas au coût d'actualisation

Le débat économique relatif à l'analyse des coûts et avantages des politiques climatiques est particulièrement animé depuis la publication de l'étude de Stern sur l'économie du changement climatique, parue en 2007. Dans cette étude, Stern avance que, si rien n'est fait pour en atténuer les effets, le changement climatique pourrait avoir un coût très élevé équivalant à une perte annualisée permanente de 5 % à

ENCADRÉ 1.2 Principes fondamentaux de l'actualisation des coûts et avantages de l'atténuation du changement climatique

L'évaluation de l'affectation des ressources dans le temps est un des éléments de base de l'économie appliquée et de la gestion de projet. Ce type d'évaluation a été très largement utilisé pour examiner la question des coûts et avantages de l'atténuation du changement climatique. Toutefois, des désaccords importants persistent quant aux valeurs que doivent avoir les paramètres.

Le taux d'actualisation sociale exprime les coûts et avantages monétaires futurs de l'atténuation du changement climatique calculés à leur valeur actuelle ou de la valeur que leur attribuent les décideurs d'aujourd'hui. Il s'ensuit, par définition, que le principal outil d'analyse du bien-être intergénérationnel – à savoir le calcul de la valeur actualisée totale escomptée – élimine la dimension temporelle de la distribution du bien-être. Déterminer la valeur appropriée des éléments du taux d'actualisation dans le contexte d'un problème s'inscrivant dans le long terme, comme c'est le cas du changement climatique, suppose d'examiner en profondeur certaines points à la fois

économiques et éthiques (voir encadré 1.4). Le taux d'actualisation est fonction de trois facteurs. Le premier est le poids à donner au bien-être futur, pour la simple raison que ce bien-être sera ressenti à une période ultérieure. Ce pur taux de préférence temporelle peut être considéré être une mesure d'impatience. Le deuxième facteur est le taux de croissance de la consommation par habitant : si la croissance est rapide, les générations futures seront beaucoup plus riches, ce qui réduit la valeur attribuée aujourd'hui aux pertes découlant de futurs dommages climatiques par rapport aux coûts d'atténuation supportés aujourd'hui. Le troisième facteur est la rapidité avec laquelle l'utilité marginale de la consommation (qui mesure les avantages tirés d'un dollar supplémentaire de revenu) diminue en fonction de l'augmentation du revenu^a.

Il n'y a pas d'accord universel quant au choix des valeurs numériques à attribuer à chacun des trois déterminants du taux d'actualisation sociale. On peut s'appuyer sur des jugements éthiques ou

des informations empiriques, voire sur une combinaison des deux, pour tenter de cerner les préférences au regard des comportements passés. Dans la mesure où les coûts des politiques d'atténuation sont supportés par les générations actuelles, alors que les avantages potentiellement très importants de ces politiques (dommages évités) ne se manifesteront que dans un futur lointain, le choix des paramètres qui définissent le taux d'actualisation sociale influe fortement sur les orientations des politiques climatiques.

Sources : Stern 2007 ; Stern 2008 ; Dasgupta 2008 ; Roemer 2009 ; Sterner et Persson 2008.

a. L'utilité marginale de la consommation diminue à mesure que le revenu augmente, puisqu'un dollar supplémentaire de consommation a plus d'utilité pour une personne pauvre que pour une personne qui consomme déjà beaucoup. La rapidité de cette diminution – en d'autres termes l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation par rapport à la variation du niveau de revenu – permet aussi de mesurer la tolérance aux risques et aux inégalités.

20 % du PIB, et appelle à l'adoption de mesures vigoureuses et immédiates. Ses recommandations vont à l'encontre de nombreux autres modèles qui plaident en faveur d'une riposte graduée et de la montée en puissance des mesures d'atténuation, en invoquant des arguments économiques⁶⁸.

Le débat qui divise les spécialistes porte principalement sur le taux d'actualisation à appliquer. Cette question, qui est au cœur des divergences entre Stern et les auteurs d'autres études, ne sera probablement jamais tranchée (encadré 1.2)⁶⁹. Stern a retenu un taux d'actualisation très faible, en se fondant sur une approche qui repose pour l'essentiel sur des considérations éthiques, et selon laquelle le fait que les générations futures seront probablement plus riches est le seul facteur qui puisse amener à attribuer au bien-être des générations futures une valeur inférieure à celle du bien-être des générations actuelles ; à tous autres égards, le bien-être des générations futures est tout aussi important que celui des générations actuelles⁷⁰. Les arguments avancés à l'appui d'un taux d'actualisation faible et d'un taux plus élevé sont tous parfaitement recevables. Malheureusement, l'économie du bien-être intergénérationnel ne peut apporter de solution au problème, car elle soulève plus de questions qu'elle ne fournit de réponses⁷¹.

Pourtant, les arguments en faveur de mesures immédiates et résolues d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ne sont pas uniquement subordonnés à l'application d'un faible taux d'actualisation. S'il le taux d'actualisation est important pour déterminer le poids relatif des coûts et avantages, d'autres facteurs contribuent à accroître les avantages découlant des mesures d'atténuation (dégâts évités), ce qui donne encore plus de poids aux arguments avancés en faveur de mesures d'atténuation rapides et ambitieuses, y compris dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation élevé⁷².

Des impacts de plus vaste portée. La plupart des modèles économiques du changement climatique ne tiennent pas suffisamment compte de l'appauvrissement de la biodiversité et des services écosystémiques associés – cette omission, qui tient du paradoxe, équivaut à analyser les arbitrages à opérer entre biens de consommation et bien environnementaux sans intégrer les biens environnementaux dans la fonction d'utilité des individus⁷³. Si la valeur marchande estimée des services environnementaux perdus peut être difficile à calculer et peut varier d'une culture ou d'un système de valeur à l'autre, ces pertes ont néanmoins un coût. Elles entraînent une hausse du prix relatif des services environnementaux, puisqu'ils deviennent plus rares, tant en valeur relative qu'absolue. La prise en compte des pertes environnementales dans un modèle standard d'évaluation intégrée entraîne une augmentation considérable du coût global du changement climatique, lorsque rien n'est fait pour en atténuer les effets⁷⁴. En fait, la prise en compte de l'appauvrissement de la diversité biologique dans un modèle

standard met clairement en évidence la nécessité impérieuse de prendre des mesures d'atténuation rapides, y compris lorsqu'on applique un taux d'actualisation plus élevé.

Des modèles dynamiques plus précis : effets de seuil et inertie.

La courbe des dommages, qui permet d'établir un lien entre les variations de température et les dommages monétisés qui leur sont associés, est généralement modélisée dans les analyses coûts-avantages sous la forme d'une courbe ascendante régulière. Pourtant, des données scientifiques toujours plus nombreuses indiquent que les systèmes naturels pourraient réagir de manière non linéaire au changement climatique du fait de rétroactions positives, d'effets de seuil ou de points de basculement (encadré 1.3). Des rétroactions positives pourraient se produire, par exemple, si le réchauffement venait à entraîner la fonte des pergélisols, ce qui libérerait les énormes quantités de méthane (un puissant gaz à effet de serre) stockées dans ces sols et conduirait à une accélération du réchauffement. Les seuils et les points de basculement marquent des modifications relativement rapides et de grande ampleur des systèmes naturels (ou socioéconomiques) qui sont à l'origine de pertes graves et irréversibles. Ces rétroactions positives, seuils et points de basculement sont autant de raisons qui justifient de réduire au minimum le rythme et l'ampleur du changement climatique⁷⁵.

La forte inertie du système climatique ne fait qu'ajouter aux inquiétudes que suscitent les rétroactions positives, les effets de seuil et le caractère irréversible des impacts du changement climatique. Les scientifiques ont découvert que le réchauffement causé par l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre pourrait être en grande partie irréversible pendant un millier d'années après l'arrêt des émissions⁷⁶. Retarder la mise en œuvre des mesures d'atténuation éliminerait toute possibilité de réduire l'ampleur du réchauffement climatique : à titre d'exemple, un retard de plus de dix ans rendrait vraisemblablement impossible la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère en deçà d'un réchauffement de 3 °C⁷⁷. De plus, le système climatique continuera d'évoluer pendant plusieurs siècles, y compris après la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre (voir Abrégé). Ainsi, seules des mesures d'atténuation immédiates permettront de préserver la valeur d'option, en d'autres termes d'éviter que certaines options de stabilisation ne soient définitivement exclues.

L'inertie de l'environnement bâti – transports, énergie, logement, et formes urbaines (conception des villes) est toute aussi conséquente. Face à cette inertie, d'aucuns préconisent de repousser les mesures d'atténuation pour ne pas s'enfermer inutilement dans des investissements plus lourds à moindre intensité de carbone, et d'attendre que des technologies plus performantes et moins coûteuses permettent une rapide montée en puissance des mesures d'atténuation,

ENCADRÉ 1.3 *Rétroactions positives, points de basculement, effets de seuil et non-linéarités dans les systèmes naturels et socioéconomiques*

Rétroactions positives liées au système climatique

Les rétroactions positives amplifient les effets des gaz à effet de serre. La modification de la réflectivité (albédo) de la surface de la terre en est un exemple : les surfaces à forte réflectance comme la neige et la glace renvoient dans l'atmosphère les rayons chauds du soleil, mais étant donné que les températures élevées entraînent la fonte des glaces et de la neige, la surface de la Terre absorbe une plus grande quantité d'énergie, ce qui entraîne un accroissement du réchauffement et de la fonte des glaces et de la neige, à mesure que le processus se répète.

Points de basculement inhérents au système naturel

Des modifications régulières et modérées du climat peuvent conduire un système naturel jusqu'à un point de basculement au-delà duquel des changements relativement soudains, susceptibles de s'accélérer, irréversibles et, à terme, fortement dommageables, peuvent se produire. Par exemple, le dépérissement des forêts observé dans certaines régions pourrait découler de plusieurs phénomènes comme la sécheresse, les attaques d'organismes nuisibles et la hausse des températures, dont les effets conjugués dépassent les capacités physiologiques de résistance des forêts. La fonte de la calotte glaciaire qui recouvre une grande partie du Groenland pourrait aussi constituer un point de basculement dont les répercussions se feraient sentir dans le monde entier. Au-delà d'un certain niveau de réchauffement, les glaces qui fondent en été ne peuvent plus regeler en hiver. Ce phénomène accentue fortement la fonte des glaces et pourrait entraîner une élévation du niveau des mers de six mètres.

Effets de seuils et systèmes socioéconomiques

Le coût économique des impacts directs du réchauffement climatique pourrait aussi entraîner des effets de seuil importants, puisque les infrastructures et les pratiques de production existantes sont conçues pour résister à des variations des

conditions météorologiques ne dépassant pas celles observées dans le passé. On pourrait donc en déduire que l'aggravation éventuelle des impacts du changement climatique tiendra principalement à l'accroissement des concentrations de population et d'actifs plutôt qu'au climat – dès lors que l'ampleur des phénomènes météorologiques reste dans les limites des variations passées – mais que ces impacts pourraient s'accroître brusquement si, à l'avenir, les conditions climatiques venaient à excéder durablement ces limites.

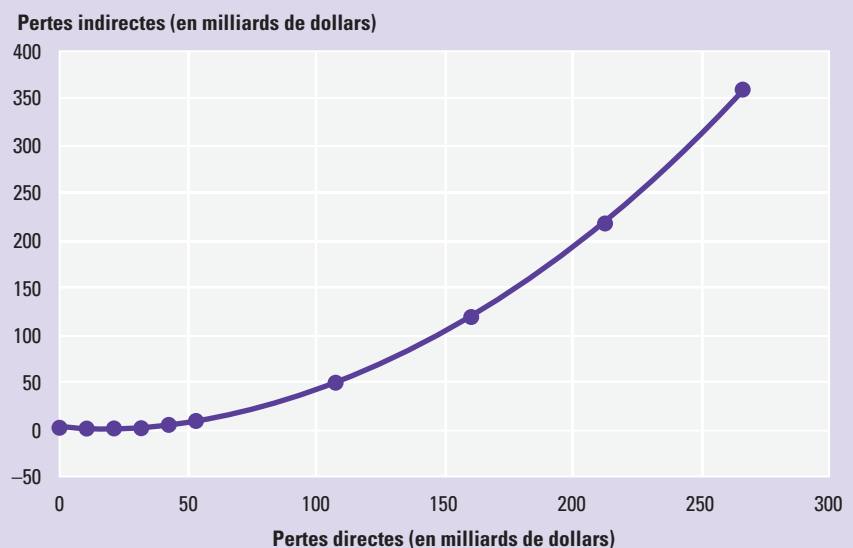
Non-linéarités et effets économiques indirects

La riposte économique à ces impacts est par nature non linéaire, notamment parce que les impacts du changement climatique vont à la fois accroître les besoins d'adaptation et potentiellement réduire les capacités d'adaptation. Les impacts directs du changement climatique peuvent aussi engendrer des effets indirects (rétroactions macroéconomiques, interruption des activités commerciales, perturbations de la chaîne

d'approvisionnement), dont l'importance augmente proportionnellement à la gravité des dommages directs occasionnés, comme en témoignent certaines catastrophes naturelles. Des données recueillies récemment en Louisiane, par exemple, montrent que l'économie a la capacité d'absorber jusqu'à 50 milliards de pertes directes, avec des pertes indirectes minimales. Cela étant, les pertes indirectes augmentent rapidement à mesure qu'augmente le caractère destructeur des catastrophes (voir figure). Ainsi, l'ouragan Katrina a entraîné des pertes directes de 107 milliards de dollars, auxquelles se sont ajoutées des pertes indirectes d'un montant total de 42 milliards de dollars. Des exercices de simulation montrent qu'une catastrophe provoquant des pertes directes de 200 milliards de dollars engendrerait des pertes indirectes supplémentaires du même montant.

Sources : Schmidt 2006 ; Kriegler *et al.* 2009 ; Adams *et al.* 2009 ; Hallegatte 2008 ; Stéphane Hallegatte (communication personnelle) mai 2009.

Les pertes indirectes augmentent à mesure de l'augmentation des dommages directs : l'exemple de la Louisiane



Source : Données obtenues de Stéphane Hallegatte, d'après Hallegatte 2008.

et que les risques contre lesquels les sociétés vont devoir se prémunir soient mieux connus.

Mais il n'est pas envisageable, dans la pratique, de reporter des investissements importants dans l'infrastructure et l'approvisionnement énergétique sans prendre le risque de compromettre le développement économique. La demande d'énergie va probablement tripler dans les pays en développement entre 2002 et 2030. De plus, nombre des centrales électriques exploitées dans les pays à revenu élevé ont été construites dans les années 50 et 60 et arrivent au terme de leur durée de vie utile. Il va donc falloir construire de nombreuses centrales dans les 10 ou 20 prochaines années, même si la demande reste constante. À l'heure actuelle, les centrales au charbon demeurent l'option la moins coûteuse pour de nombreux pays, d'autant qu'elles garantissent la sécurité énergétique de ceux qui disposent de vastes réserves de charbon. Si toutes les centrales au charbon qui doivent être construites dans les 25 prochaines années entrent en service, les émissions de CO₂ qu'elles pourraient produire durant leur durée de vie utile seraient équivalentes à celles qu'ont générées toutes les activités donnant lieu à la combustion de charbon depuis le début de l'ère industrielle⁷⁸. En conséquence, si le secteur de l'électricité ne prend pas dès maintenant des engagements plus résolus en faveur de la réduction des émissions, il risque fort de verrouiller des trajectoires caractérisées par des émissions relativement élevées.

Il n'est pas non plus toujours possible de rééquiper à grande échelle des installations de ce type d'une manière efficace par rapport aux coûts. La modernisation des infrastructures énergétiques n'est pas toujours matériellement envisageable, et son coût peut être prohibitif. Pour reprendre l'exemple du charbon, le piégeage et le stockage du carbone – technologie actuellement mise au point pour récupérer et stocker dans le sous-sol le carbone produit par les centrales électriques à combustibles fossiles – ne sont possibles que si les centrales sont situées à une distance maximale de 80 à 160 kilomètres d'un site adapté au stockage du CO₂. À défaut, le coût du transport du carbone devient prohibitif⁷⁹. Le problème ne se pose pas dans le cas des pays qui disposent de nombreux sites de stockage potentiels : en Chine, par exemple, près de 70 % des centrales électriques sont situées à proximité de sites de stockage, et pourraient donc être raisonnablement adaptées, de manière à pouvoir piéger et stocker le carbone, à condition que la technologie requise soit commercialisée. Ce n'est pas le cas en Inde, en Afrique du Sud et dans bien d'autres pays, où le rééquipement des centrales au charbon est financièrement inenvisageable, et où la seule solution possible consiste à construire de nouvelles centrales à proximité des rares sites de stockage du CO₂ existants (voir les chapitres 4 et 7).

Les pays en développement, dont les infrastructures sont moins développées que celles des pays riches, ont une plus grande marge de manœuvre, dans la mesure où ils pourraient

passer directement à des technologies moins polluantes. Les pays développés, de leur côté, doivent prendre l'initiative de commercialiser les nouvelles technologies qu'ils ont mises au point et de partager les connaissances tirées de leur déploiement. Les pays ne pourront modifier les trajectoires des émissions que si des technologies adaptées et abordables sont disponibles, ce qui suppose d'investir dans la recherche-développement, de diffuser les résultats de ces travaux et de promouvoir l'apprentissage par la pratique, en s'attelant dès maintenant à la tâche.

Les opportunités de passer d'un parc d'équipements à forte intensité de carbone à un parc durable sobre en carbone ne se répartissent pas uniformément dans le temps⁸⁰. À l'avenir, il ne sera pas matériellement envisageable d'opter pour un système énergétique économiquement efficace si les technologies requises ne sont pas encore commercialisées à une échelle suffisante pour être abordables, et si le savoir-faire que requiert leur utilisation n'est pas disponible (voir chapitre 7)⁸¹. De même, pour disposer de technologies efficaces et peu coûteuses d'appui aux mesures d'atténuation essentielles à la mutation des systèmes énergétiques, il faudra engager des efforts résolus en matière de recherche et de démonstration pour réduire le coût des technologies potentielles et favoriser l'acquisition des connaissances indispensables à leur utilisation. À cette fin, les pays développés doivent jouer un rôle de premier plan dans l'élaboration et la commercialisation de nouvelles technologies et s'employer à diffuser les connaissances qui se dégagent de leur déploiement.

Prendre en compte les incertitudes Les évaluations économiques des politiques climatiques doivent tenir compte des incertitudes concernant l'ampleur des impacts défavorables du changement climatique, leurs manifestations dans le temps et la faisabilité, le coût et le calendrier des mesures d'atténuation. Pourtant, la plupart des modèles économiques omettent de tenir compte d'une incertitude d'importance majeure, à savoir l'éventualité d'événements catastrophiques de grande ampleur découlant du changement climatique (voir Thème A sur les bases scientifiques du changement climatique). Cette question est actuellement au cœur du débat⁸². La distribution de probabilité sous-jacente de ces risques de catastrophe n'est pas connue et ne le sera probablement jamais. Des mesures d'atténuation plus vigoureuses permettraient certainement de réduire leur probabilité, même s'il est difficile de dire dans quelles proportions. L'éventualité d'une catastrophe d'ampleur mondiale, y compris d'une catastrophe très peu probable, devrait renforcer la détermination de la société à investir dans la mise en œuvre de mesures d'atténuation plus rapides et plus vigoureuses qui pourraient permettre d'éviter un désastre⁸³.

Outre les risques de catastrophe, des incertitudes considérables subsistent quant aux impacts écologiques et économiques du changement climatique. Ainsi, on ignore encore quels seront le rythme probable et, à terme, l'ampleur du réchauffement climatique. De même, il est encore impossible de déterminer avec certitude les répercussions que la variabilité du climat et les événements climatiques extrêmes (par opposition à l'évolution normale des températures moyennes) auront sur le système naturel et sur le bien-être des populations humaines. Les connaissances dont on dispose sur les capacités d'adaptation des individus, le coût des mesures d'adaptation et l'ampleur des dommages résiduels qui ne pourront être évités sont encore très limitées. Enfin, les incertitudes relatives au rythme auquel les nouvelles technologies seront mises au point, diffusées et adoptées sont considérables.

Ces incertitudes ne font qu'augmenter avec le rythme et l'ampleur du réchauffement, ce qui constitue un argument de poids en faveur de l'adoption de mesures immédiates et résolues⁸⁴. Plus les incertitudes sont grandes, plus il importe de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation applicables à tous les scénarios climatiques possibles. Ces stratégies existent (comme on le verra ci-après), mais elles sont moins efficaces que celles qui pourraient être élaborées si l'on disposait d'informations complètes. L'incertitude est donc coûteuse. Et plus elle est grande, plus les coûts des mesures d'adaptation augmentent.

S'il n'y avait pas d'inertie, et si les effets du changement climatique n'étaient pas irréversibles, ces incertitudes ne prêteraient pas à conséquence, puisque les décisions ne seraient pas irrévocables et que les mesures d'adaptation pourraient être aisément ajustées, sans coût supplémentaire. Mais les inerties très fortes qui caractérisent à la fois le système climatique, l'environnement bâti et le comportement des individus et des institutions font qu'il est très coûteux, voire impossible de renforcer en cours de route les mesures d'atténuation si de nouvelles informations sont recueillies ou si la découverte de nouvelles technologies prend du temps. En conséquence, les inerties majorent considérablement le risque que les décisions relatives au changement climatique prises dans un contexte incertain aient des incidences négatives. Les effets conjugués des incertitudes, des inerties et du caractère irréversible du changement climatique militent donc en faveur de l'adoption, à titre de précaution, de mesures d'atténuation de plus grande ampleur.

De même, les aspects économiques de la prise de décision dans un contexte marqué par les incertitudes liées au changement climatique plaident en faveur de la mise en œuvre, à titre préventif, de mesures d'adaptation plus résolues⁸⁵. L'incertitude justifie pleinement d'adopter une approche itérative de la sélection des objectifs à atteindre, en adoptant d'emblée une position plus offensive. La perspective de pouvoir acquérir de nouvelles informations susceptibles de

modifier notre évaluation des incertitudes ne diminue en rien la pertinence de cette approche⁸⁶.

Agrégation des impacts et valeurs : choix normatifs Les politiques climatiques supposent d'opérer des arbitrages entre interventions immédiates et avantages à long terme, entre choix individuels et conséquences mondiales. Elles relèvent donc pour l'essentiel de choix d'ordre éthique, et sont motivées par le souci de préserver le bien-être d'autrui.

Pour prendre en compte ces arbitrages, on peut notamment intégrer directement les avantages tirés de biens écologiques non marchands (et leur disponibilité pour les générations futures) dans les modèles économiques du bien-être⁸⁷. En pratique, il s'est avéré difficile de quantifier de tels arbitrages, mais cette approche constitue néanmoins un point de départ pour l'évaluation de la valeur accrue que les sociétés attachent à l'environnement à mesure que les revenus augmentent, c'est-à-dire des arbitrages possibles entre la consommation actuelle et les efforts coûteux à engager pour préserver le bien-être – et l'existence, des générations futures⁸⁸.

De plus, la façon dont un modèle agrège les impacts du changement climatique au niveau d'individus ou de pays appartenant à des catégories de revenus différentes influe fortement sur la valeur des pertes estimées⁸⁹. Outre le souci d'équité intergénérationnelle dont le taux d'actualisation se veut l'expression, on peut ajouter une dimension d'équité à cette approche en appliquant des coefficients de pondération afin de rendre compte du fait qu'un dollar à plus de valeur pour un pauvre que pour un riche. Cette méthode permet de mieux cerner le bien-être humain (et non pas simplement les revenus). Par ailleurs, dans la mesure où les individus et les pays pauvres sont plus exposés aux effets du changement climatique, elle permet de revoir largement à la hausse les estimations des pertes agrégées attribuables au changement climatique. À l'inverse, en faisant la somme de tous les dommages en dollars, puis en exprimant le montant obtenu en pourcentage du PIB mondial climatique (ce qui équivaut implicitement à pondérer ces dommages en fonction de la contribution au produit total), on donne beaucoup moins de poids aux pertes subies par les plus pauvres.

Les systèmes de valeurs influent aussi sur les décisions relatives aux politiques environnementales. Le changement climatique est considéré depuis peu comme un enjeu touchant aux droits de l'homme (encadré 1.4). De fait, la plupart des sociétés ont des systèmes éthiques ou religieux qui attachent une grande valeur à la nature et confèrent aux hommes le rôle de gardiens de la Terre et de ses ressources naturelles, bien que les résultats soient généralement bien en deçà de l'idéal poursuivi. Au cours de la première moitié du XVII^e siècle, le Japon, dont les ressources forestières avaient été massivement exploitées, était au bord d'une catastrophe écologique. Pourtant, dès le début du XVIII^e siècle, il s'était

ENCADRÉ 1.4 *Éthique et changement climatique*

Le changement climatique est un phénomène complexe qui soulève un certain nombre de questions éthiques. Les considérations d'équité et de justice revêtent une importance particulière dans ce contexte, compte tenu du décalage temporel et géographique considérable entre les émissions de gaz à effet de serre et leurs impacts. La problématique du changement climatique soulève au moins trois questions éthiques majeures qui tiennent aux aspects suivants : l'évaluation des impacts, la prise en compte de l'équité intergénérationnelle et la répartition des responsabilités et des coûts.

Évaluation des impacts

Plusieurs disciplines, parmi lesquelles les sciences économiques, défendent le principe selon lequel le bien-être doit être le critère suprême de toute évaluation. Il existe pourtant des désaccords importants entre les partisans de cet « utilitarisme actualisé », notamment en ce qui concerne le taux d'actualisation à appliquer et la méthode à utiliser pour définir un coefficient global de bien-être pour l'ensemble des générations actuelles et futures. Un des arguments les plus fréquemment avancés est qu'aucune raison éthique valable ne justifie d'ignorer les impacts économiques et humains du changement climatique au seul motif qu'ils ne se manifesteront que dans 40, voire dans 400 ans. On oppose parfois à cet argument le fait qu'il n'est pas équitable que les générations actuelles consacrent des ressources à l'atténuation des impacts futurs du changement climatique quand d'autres types d'investissements paraissent plus rentables, ce qui ramène à la question de la pondération des coûts et avantages respectifs d'options diverses et tout autant incertaines.

Récemment, le débat s'est concentré sur la question des droits de l'homme, désormais perçue comme le critère d'évaluation pertinent des impacts du changement climatique. En effet, les impacts du changement climatique risquent de mettre en péril certains droits fondamentaux, notamment économiques et sociaux (droit à la nourriture, à l'eau et à un abri, notamment), et certaines des interventions engagées en réponse

au changement climatique pourraient avoir les mêmes effets. Les impacts du changement climatique pourraient aussi avoir des retombées directes et indirectes sur l'exercice des droits civiques et politiques. Cela étant, les liens de cause à effets sont très difficiles à établir dans ce domaine, ce qui pourrait avoir un effet restrictif sur l'application du droit international des droits de l'homme aux différends internationaux ou nationaux. Les causes du changement climatique sont diffuses, si bien que le lien direct entre les émissions d'un pays donné et les impacts ressentis dans un autre est difficile à établir dans le contexte d'un contentieux. La définition juridique des responsabilités et des dommages se heurte par ailleurs un autre obstacle qui tient à la diffusion des émissions et des impacts dans le temps : dans certains cas, les phénomènes à l'origine des impacts actuels se sont étalés sur plusieurs générations, et les dommages constatés aujourd'hui sont également susceptibles d'être ressentis par nombre de générations futures.

Prise en compte de l'équité intergénérationnelle

L'équité intergénérationnelle fait partie intégrante de l'évaluation des impacts. La manière dont elle est intégrée à un modèle économique sous-jacent à des incidences considérables. Comme indiqué à l'encadré 1.2, les critères types de la valeur actuelle ont pour effet d'actualiser les coûts et bénéfices futurs de l'atténuation et, partant, d'éliminer la dimension temporelle de la répartition du bien-être en ramenant toutes les variables au moment présent. D'autres approches consistent à maximiser l'utilité de la génération actuelle, à intégrer ses préoccupations altruistes à l'égard des générations futures, et à prendre en compte l'incertitude relative à l'existence des générations futures.

Répartition des responsabilités et des coûts

La question la plus litigieuse est sans doute celle de savoir qui doit supporter le coût des solutions à apporter au problème du changement climatique. Le principe du pollueur-payeur est une première

réponse éthique : les responsabilités doivent être réparties en fonction de la contribution de chaque pays ou groupe de pays au changement climatique. D'aucuns considèrent que les émissions historiques cumulées doivent être prises en considération lors de l'établissement des responsabilités. On peut opposer à cette analyse l'argument selon lequel ceux qui ont été à l'origine des émissions passées bénéficient d'une immunité dans la mesure où ils ont agi par « ignorance excusable » et qu'ils n'étaient donc pas conscients des conséquences de leurs actes. La validité de cet argument a cependant été contestée au motif que les effets potentiellement négatifs des gaz à effet de serre sur le climat sont connus depuis déjà un certain temps. Un autre aspect de la question de la responsabilité tient aux avantages tirés des émissions passées de gaz à effet de serre (voir la figure 3 de l'Abrégé). Si les pays développés, qui sont jusqu'à présent les principaux responsables de l'accumulation de CO₂ atmosphérique, ont été les principaux bénéficiaires de ces avantages, force est de reconnaître que les pays en développement ont eux aussi tiré profit de la prospérité qui a découlé des activités à l'origine de ces émissions. La solution pourrait donc consister à ne pas tenir compte des événements passés et à accorder à tous les mêmes droits d'émission par habitant. Dans le même temps, certains considèrent que ce qui importe, à terme, n'est pas tant la répartition des émissions que la répartition du bien-être économique, mais aussi des dommages dus au changement climatique et des coûts d'atténuation connexes. Dans un monde où les richesses ne sont pas réparties de manière égale, les pays les plus riches devraient donc supporter une plus grande partie des coûts du changement climatique, ce qui n'exclut pas pour autant la possibilité de mettre en œuvre dans les pays pauvres des mesures d'atténuation financées par les pays à revenu élevé (voir chapitre 6).

Sources : Singer 2006 ; Roemer 2009 ; Caney 2009 ; Banque mondiale 2009b.

doté d'un système très élaboré de gestion des surfaces boisées⁹⁰. Si le shogunat des Tokugawa, qui dirigeait alors le pays, a décidé d'agir, c'est en partie pour préserver les intérêts des descendants de la dynastie – conformément aux traditions culturelles héritées du confucianisme⁹¹ – et pérenniser un système politique fondé sur la transmission héréditaire du pouvoir. Aujourd'hui, le territoire japonais est couvert à 80 % de forêts⁹².

Des cadres décisionnels d'un nouveau genre Les incertitudes, les inerties et les considérations éthiques dont il a été question plus haut mettent en évidence la nécessité d'agir avec prudence et, par voie de conséquence, de prendre sans tarder des mesures d'atténuation plus résolues. Dans le même temps, le débat analytique relatif à l'ampleur des mesures à prendre se poursuit et continue de diviser les économistes et les décideurs. Les conclusions des différentes analyses des coûts-avantages sont très sensibles aux hypothèses initiales (scénario de référence, fonctions d'atténuation et de dommages, taux d'actualisation) et notamment aux hypothèses implicites qui découlent de la formulation des modèles⁹³, ce qui peut conduire à une paralysie des mécanismes décisionnels.

Des cadres décisionnels qui reposent sur des évaluations plus complètes des coûts et avantages et prennent en compte l'aversion au risque et les incidences de jugements éthiques peuvent faciliter la prise de décision, en dépit du manque d'informations et des obstacles rencontrés. Il est également souhaitable, bien que difficile, d'intégrer certaines des considérations examinées ci-dessus (valeurs d'option, services des écosystèmes, risque de discontinuité) à une analyse coûts-avantages élargie. Dans le même temps, il importe que les conséquences normatives des décisions prises soient aussi transparentes que possible, de sorte que les décideurs qui souhaitent définir des politiques et des objectifs concrets en matière d'environnement et de développement soient mieux informés et puissent ainsi obtenir le soutien des multiples parties prenantes qui pourront juger, concrètement, des coûts et avantages effectifs des mesures appliquées.

L'approche dite de la « fenêtre de tolérance » ou du « garde-fou » est une des solutions envisageables. Elle consiste à sélectionner une série ou une gamme d'objectifs délimitée par des « garde-fous », de sorte que la fourchette des températures et le rythme du changement climatique ne dépassent pas des niveaux jugés tolérables, que ce soit de manière heuristique ou selon l'avis des experts⁹⁴. La « fenêtre » est définie par les contraintes établies sur la base de plusieurs systèmes sensibles aux variations climatiques. Une de ces contraintes pourrait être l'aversion de la société pour une perte de PIB déterminée, associée à un changement de température également déterminé, tant du point de vue de son ampleur que de sa rapidité. Une autre contrainte pourrait être l'aversion de la société pour les troubles sociaux

et des conséquences inévitables. Une autre encore pourrait être le seuil de réchauffement au-delà duquel certains écosystèmes s'effondreraient⁹⁵.

L'approche du « garde-fou » ne nécessite pas d'estimation monétaire des dommages résultant du changement climatique, dans la mesure où les contraintes sont définies en fonction de ce qui est jugé tolérable dans chacun des systèmes considérés (à titre d'exemple, il pourrait être difficile d'exprimer dans le PIB le nombre de personnes déplacées à la suite d'une grave sécheresse). Les éléments déterminants de la définition des garde-fous applicables aux émissions sont l'analyse scientifique des effets de seuil potentiels et l'évaluation non monétisée des risques et de la vulnérabilité résiduels qui persisteraient dans le cas où certaines stratégies d'adaptation et d'atténuation seraient mises en œuvre. Les coûts à prévoir pour que les températures ne dépassent pas les valeurs limites définies doivent être pris en considération pour évaluer le degré de sécurité climatique qu'offrent les différents garde-fous. En s'appuyant sur ces critères multiples, les décideurs peuvent réaliser une évaluation éclairée et plus exhaustive des niveaux auxquels les garde-fous doivent être fixés (cette évaluation pourra être révisée périodiquement).

Cette approche peut être complétée par diverses méthodes d'aide à la décision, comme la prise de décision robuste, afin de faciliter la prise de décision face à des incertitudes difficiles à évaluer⁹⁶. Dans un contexte marqué par de nombreuses inconnues et de grandes incertitudes quant à l'avenir, une stratégie robuste répond à la question suivante : « Quelles mesures devons nous prendre, alors que nous ne pouvons pas prévoir l'avenir, pour ramener à un niveau acceptable la possibilité d'événements défavorables ? »⁹⁷. Dans le contexte du changement climatique, le choix des politiques à suivre est un calcul probabiliste – quelle est la meilleure stratégie à suivre compte tenu des différents scénarios envisageables ? – et non pas un exercice d'optimisation, comme c'est traditionnellement le cas. Les fondements théoriques de cette approche n'ont rien de nouveau et remontent aux travaux menés par Savage au début des années 50 sur la « minimisation du regret maximal »⁹⁸.

L'élaboration de stratégies robustes, et pas seulement optimales, suppose pour l'essentiel de se livrer à un exercice de planification à partir des différents scénarios possibles. Pour cela, il faut définir plusieurs scénarios et comparer les stratégies envisageables afin d'en évaluer la robustesse, en d'autres termes la capacité à éviter un résultat donné, dans chacun des scénarios envisagés. Cette analyse doit conduire à définir des « actions déterministes » qui ont un impact sur la situation future, des « mesures de couverture des risques » qui visent à réduire la vulnérabilité future et des « signaux d'alarme » qui indiquent la nécessité de réévaluer ou de modifier les stratégies. L'analyse préalable à la prise de décision robuste peut également être réalisée au moyen d'outils

quantitatifs plus formels, dans le cadre d'une approche de modélisation exploratoire, à l'aide de méthodes mathématiques permettant de caractériser les décisions et les résultats dans un contexte marqué par de grandes incertitudes.

La prise de décision robuste consiste à évaluer, pour chacun des scénarios envisageables, les coûts, les avantages et les arbitrages inhérents aux politiques climatiques. L'idée n'est pas de suivre une politique « optimale », au sens traditionnel de politique de maximisation de l'utilité, qui donne, dans l'ensemble, de meilleurs résultats que les autres, mais plutôt d'engager des politiques judicieuses et robustes permettant de faire face à des situations imprévisibles. Dans ce contexte, les mesures formulées à brève échéance peuvent être considérées fournir une assurance contre le coût d'un ajustement ultérieur des stratégies, comme l'appui donné à la poursuite dès maintenant d'investissements dans la recherche-développement et dans l'infrastructure, de manière à préserver la possibilité d'un avenir sobre en carbone⁹⁹.

Coûts du retard dans l'adoption de mesures mondiales d'atténuation

Le réchauffement mondial auquel on assiste actuellement est en grande partie attribuable aux émissions des pays riches¹⁰⁰. Les pays en développement s'inquiètent à juste titre des conséquences que pourraient avoir des mesures visant à limiter leur croissance. Leurs préoccupations vont dans le sens du principe des « responsabilités communes mais différenciées » consacré dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), et selon lequel les pays à revenu élevé doivent prendre l'initiative de réduire leurs propres émissions, compte tenu à la fois de leurs responsabilités historiques et du fait que leurs émissions par habitant sont beaucoup plus importantes aujourd'hui. De plus, les ressources financières et technologiques considérables dont ils disposent doivent en toute logique les amener à assumer l'essentiel des coûts d'atténuation du changement climatique, quels que soient les pays dans lesquels ces mesures d'atténuation sont appliquées.

Cela étant, il ne suffira pas que les pays riches réduisent leurs émissions pour limiter le réchauffement et le ramener à des niveaux tolérables. Si les émissions cumulées par habitant relevées dans le passé dans les pays à faible revenu, mais aussi dans les pays à revenu intermédiaire¹⁰¹, étaient limitées, les émissions annuelles totales de CO₂ de sources énergétiques dans les pays à revenu intermédiaire ont rattrapé celles des pays riches, et les émissions actuelles dues à un changement d'affectation des terres proviennent en majeure partie des pays tropicaux¹⁰². Enfin et surtout, les projections de la consommation de combustibles fossiles dans les pays à revenu intermédiaire indiquent que les émissions de CO₂ de ces pays continueront d'augmenter et dépasseront les émissions cumulées des pays développés dans les prochaines décennies¹⁰³.

En conséquence, comme le soulignent la CCNUCC et le Plan d'action de Bali¹⁰⁴, les pays ont tous un rôle à jouer dans le contexte d'un accord sur la réduction des émissions mondiales, et ce rôle doit être proportionnel à leur niveau de développement. Selon cette analyse, les pays développés doivent prendre les devants et atteindre des objectifs significatifs de réduction de leurs émissions, et aider les pays en développement à ériger les bases de trajectoires de croissance à moindre intensité de carbone et à répondre aux besoins de leurs citoyens en matière d'adaptation. La CCNUCC appelle également les pays développés à couvrir les coûts additionnels d'atténuation et d'adaptation que les pays en développement vont devoir supporter.

La mise en place d'un mécanisme mondial dissociant les pays qui mettent en œuvre des mesures d'atténuation de ceux qui les financent (question qui fait l'objet du chapitre 6) est un des éléments essentiels de l'action à engager au niveau mondial. Les transferts financiers internationaux négociés peuvent permettre le financement direct, *par* les pays à revenu élevé, des mesures d'atténuation entreprises dans les pays en développement. (Dans les pays en développement, les mesures d'atténuation exigeront le plus souvent de ramener les futures trajectoires d'émission à des niveaux plus durables, et non pas à réduire le niveau des émissions en valeur absolue). Il sera sans doute extrêmement difficile d'obtenir des pays à revenu élevé qu'ils débloquent des financements de grande ampleur. Toutefois, *si* ces pays sont déterminés à réduire les émissions mondiales totales, il est dans leur intérêt de fournir les financements requis, de sorte que des mesures d'atténuation ambitieuses puissent être prises dans les pays en développement. En règle générale, les estimations des coûts d'atténuation à l'échelle mondiale partent du principe que ces mesures seront mises en œuvre dans le lieu et au moment où elles seront les moins coûteuses. Nombre des mesures peu coûteuses visant à réduire les émissions par rapport aux trajectoires indiquées par les projections ont été engagées dans des pays en développement. En conséquence, les stratégies mondiales d'adaptation à moindre coût supposent qu'une proportion importante des efforts d'atténuation soit entreprise dans les pays en développement, quelles que soient les sources qui les financent¹⁰⁵.

Si les pays tardent à réduire sensiblement leurs émissions, le coût à l'échelle mondiale des mesures d'atténuation sera plus élevé, indépendamment de l'objectif visé. Selon une étude¹⁰⁶, le report jusqu'en 2050 des mesures d'atténuation dans les pays en développement pourrait plus que doubler le coût total de la réalisation d'un objectif donné. Une autre estimation indique que l'adoption d'un accord international qui ne couvrirait que les cinq principaux pays émetteurs (à l'origine des deux tiers des émissions mondiales) multiplierait par trois le coût de la réalisation d'un objectif donné, par rapport à un accord couvrant l'ensemble des pays¹⁰⁷. En effet, en réduisant la gamme des options d'atténuation envi-

sageables aux fins d'un objectif précis, on s'oblige à mettre en œuvre non seulement les mesures peu onéreuses ou ayant un coût négatif, mais aussi des mesures très coûteuses.

Si le potentiel de mise en œuvre de mesures à coût négatif (offrant un bénéfice net) et de mesures très coûteuses est comparable dans les pays développés et les pays en développement, c'est principalement dans les pays en développement que la gamme intermédiaire des options d'atténuation à faible coût peut être mise en œuvre (notamment dans les secteurs de l'agriculture et de la foresterie). Il faudra impérativement prendre toutes les mesures possibles pour obtenir des résultats conséquents en matière d'atténuation, C'est ce qui ressort de l'analyse de McKinsey (figure 1.3 a), mais elle n'est pas la seule à parvenir à cette conclusion. Si les pays en développement ne réduisent pas leurs émissions, le coût total des mesures d'atténuation, quelle qu'en soit l'ampleur, sera beaucoup plus élevé (le coût de dépollution marginal est toujours plus important si ces mesures ne sont appliquées que dans les pays développés (la ligne violet foncé à la figure 1.3 b) et non dans l'ensemble des pays du monde (la ligne violet clair à la figure 1.3 b). La baisse du potentiel d'atténuation total et l'augmentation des coûts d'atténuation mondiaux, qui découlent de l'approche consistant à concentrer l'essentiel des mesures d'atténuation dans les pays à revenu élevé, ne sont pas le fait d'un modèle particulier¹⁰⁸. Elles ne tiennent pas non plus aux différences, en possibilités et en coûts, entre les pays développés et les pays en développement : si les pays développés se refusaient à réduire leurs émissions, il en résulterait aussi une augmentation des coûts d'atténuation mondiaux et il faudrait renoncer dans une certaine mesure aux possibilités de dépollution (figure 1.3 c).

Un tel accroissement des coûts de dépollution est une pure perte de bien-être collectif ; en d'autres termes les coûts additionnels n'entraînent en contrepartie aucune amélioration du bien-être. En évitant de telles pertes (zones en gris entre les courbes des coûts marginaux des figures 1.3 b et 1.3 c), on crée de multiples incitations et on se donne toute la marge de manœuvre nécessaire pour négocier le financement et le lieu de mise en œuvre des mesures d'atténuation, tout en améliorant les conditions de vie de l'ensemble des parties concernées. En d'autres termes, l'application, dans tous les pays du monde, d'une gamme complète de mesures d'atténuation visant un objectif précis s'avèrerait beaucoup moins coûteuse pour la planète dans son ensemble. La différence de coût serait telle que, si les pays déterminés à atteindre l'objectif fixé sont assez nombreux, tous les pays du monde verront leur situation s'améliorer, à condition toutefois que les pays développés prennent à leur charge dès aujourd'hui le coût du déploiement à plus grande échelle des mesures d'atténuation dans les pays en développement.

Les pays développés disposent des ressources et des moyens d'incitation nécessaires pour transférer au pays non

visés à l'Annexe I¹⁰⁹ des financements suffisants leur permettant d'atteindre, en s'aidant de ces transferts de ressources pour étendre sans délai la portée de leurs efforts d'atténuation, un niveau de richesse au moins équivalent à celui qu'ils pourraient avoir s'ils attendaient une dizaine d'années, voire plus, pour s'engager à définir leurs propres objectifs et politiques d'atténuation. Chaque dollar transféré aux fins d'un objectif d'atténuation donné pourrait en effet générer en moyenne trois dollars sous forme d'amélioration du bien-être collectif, en éliminant les pertes pour la société, et ces améliorations pourraient ensuite être réparties conformément à des conditions négociées. En d'autres termes, la participation des pays en développement à la réalisation d'un objectif d'atténuation mondial présente un intérêt considérable. La répartition des avantages tirés de l'élimination des pertes de bien-être collectif peut ainsi encourager la participation de tous les pays à un accord équitable. Il ne s'agit pas là d'un jeu à somme nulle¹¹⁰.

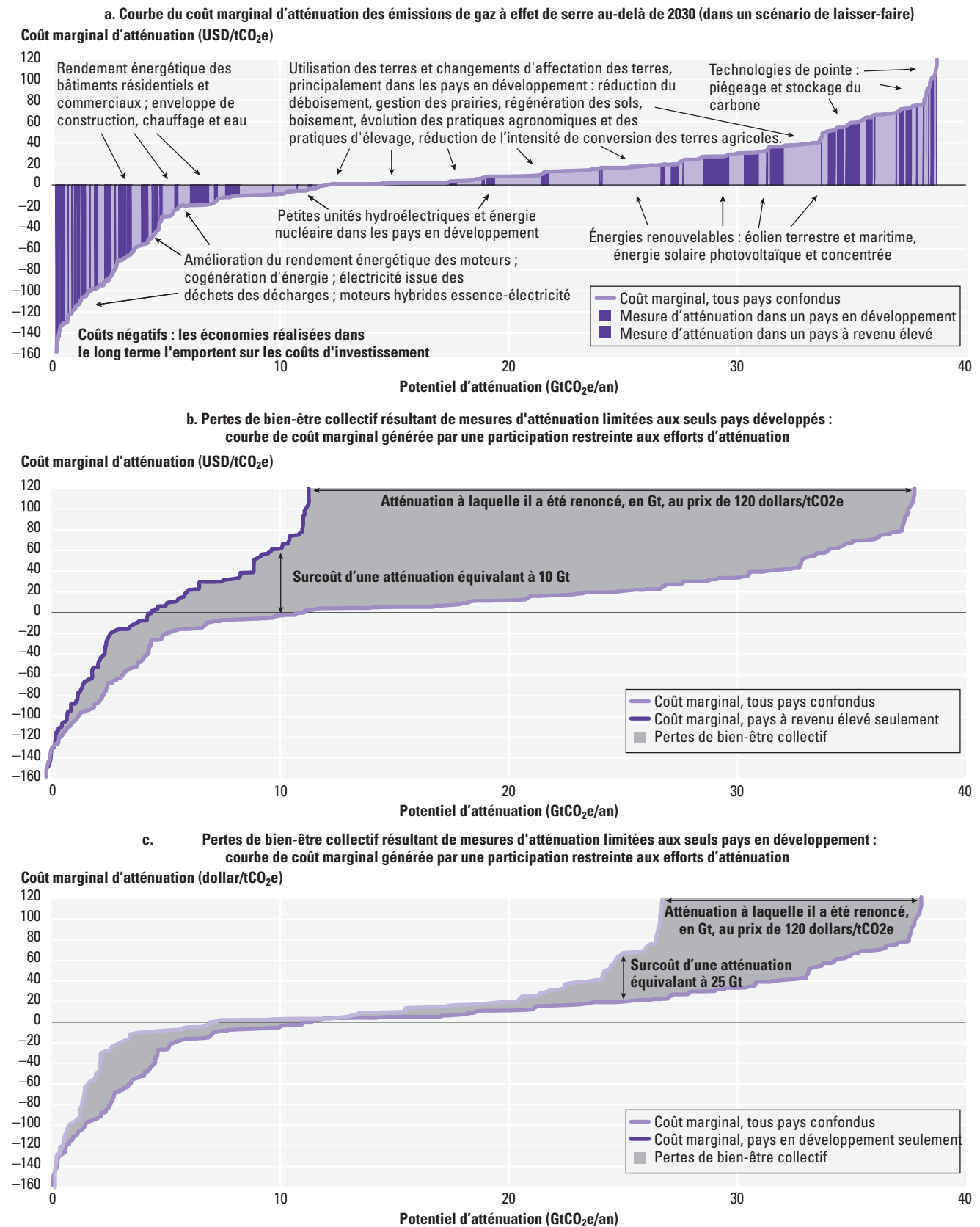
Cela étant, il est impératif de ne pas sous-estimer les difficultés liées à l'établissement d'un accord sur les objectifs d'émission mondiaux. En effet, ce type d'accord se heurte à des difficultés qui tiennent à ce qu'il est convenu d'appeler la « tragédie des biens communs » : tous les pays peuvent tirer parti de la participation de tous à un effort commun, mais les incitations susceptibles de les encourager à s'associer de manière unilatérale à cet effort sont insuffisantes dans la plupart des cas. La situation ne tient pas seulement au fait que les pays voudraient tous bénéficier sans contrepartie des avantages découlant d'un tel accord¹¹¹. La plupart des pays sont de taille suffisamment modeste pour qu'un accord international puisse continuer de fonctionner même si l'un d'entre eux décidait de s'en désolidariser. En revanche, si tous les pays agissaient de même, il serait impossible de conclure un tel accord¹¹².

En fait, les simulations réalisées à partir des différents types d'alliance et modalités de transfert de ressources susceptibles de convaincre les participants réticents de ne pas faire cavalier seul montre combien il est difficile de parvenir à un accord stable (compatible avec les intérêts de chacun) prévoyant des réductions massives et coûteuses des émissions mondiales. S'il est en revanche plus facile de conclure des accords stables et efficaces visant à opérer des réductions moins importantes et moins coûteuses des émissions mondiales, de telles réductions ne sont pas suffisantes pour faire face aux menaces que fait peser dans le long terme un changement climatique de plus grande ampleur¹¹³.

Une occasion à saisir : programmes de relance immédiate et mutations à long terme

En 2008, l'économie mondiale a été profondément ébranlée par les retombées de la crise du marché de l'immobilier et des marchés financiers qui a frappé les États-Unis avant de s'étendre à de nombreux autres pays. Le monde n'avait

Figure 1.3 Évaluation des pertes de bien-être collectif découlant d'une participation partielle à un accord climatique



Source : McKinsey & Company 2009 et ventilation des données par l'équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde 2010.

Note : À la figure (a), les barres représentent les mesures d'atténuation ; la largeur des barres indique le volume des réductions d'émissions résultant de chaque mesure, et la hauteur des barres le coût de la mesure considérée, par tonne d'émissions évitées. En traçant une ligne reliant les barres, on obtient la courbe du coût marginal d'atténuation. Les figures (b) et (c) présentent la courbe du coût marginal d'atténuation que l'on obtiendrait si les mesures d'atténuation étaient limitées aux seuls pays à revenu élevé (b) ou aux seuls pays en développement (c), et indiquent les pertes de bien-être collectif qui résulteraient de chacun de ces deux scénarios. Ces pertes pourraient être évitées ou réduites au minimum grâce à des mécanismes financiers permettant de dissocier les pays qui prennent des mesures d'atténuation de ceux qui les financent, et garantissant la mise en œuvre des mesures d'atténuation les plus efficaces par rapport à leur coût.

pas connu pareil bouleversement financier et économique depuis la Grande crise de 1929. Les marchés du crédit ont été paralysés, les investisseurs se sont mis à l'abri, des dizaines de monnaies ont subi un réalignement monétaire et les bourses du monde entier ont dévissé. Au plus fort de la crise, la volatilité financière du marché boursier américain était telle que des pertes d'une valeur de 1,3 milliard de milliards de dollars ont été enregistrées en une seule séance¹¹⁴.

Les conséquences mondiales de cette crise pour l'économie réelle et les indicateurs du développement ont été considérables et se font encore sentir aujourd'hui. Ainsi, on s'attend en 2009 à une contraction de l'économie mondiale. Le chômage est en augmentation partout dans le monde. Les États-Unis ont perdu à eux seuls 5 millions d'emplois entre décembre 2007, date du début de la récession, et mars 2009¹¹⁵. Selon certaines estimations, les pertes d'emplois dans les pays en développement s'élèveraient à 32 millions¹¹⁶. En 2009, entre 53 millions et 90 millions de personnes ne parviendront pas à échapper à la pauvreté, victimes des retombées de la crise¹¹⁷. L'aide publique au développement, déjà nettement inférieure aux engagements pris par plusieurs pays bailleurs de fonds, diminuera probablement du fait de l'aggravation de la situation des finances publiques dans les pays développés et de l'attention accrue portée aux priorités nationales.

Ce repli économique a également accru la vulnérabilité de certaines régions face aux défis à venir : les économies subsahariennes se sont rapidement développées au cours des premières années du XXI^e siècle, mais l'effondrement des cours des produits de base et le ralentissement de l'activité économique mondiale vont sans doute les mettre à rude épreuve. Les transferts de fonds envoyés par les travailleurs expatriés dans les pays développés ont diminué, et la situation des pays et des communautés qui dépendent de ces ressources s'en est trouvée considérablement aggravée¹¹⁸. Au Mexique, les transferts de fonds ont diminué de 920 millions de dollars au cours des six mois précédant mars 2009, ce qui représente un recul de 14 %¹¹⁹.

La crise économique fait peser un poids supplémentaire sur les efforts de développement et risque fort de détourner l'attention portée à la question du changement climatique, qui revêt pourtant un caractère d'urgence. La vulnérabilité des individus, des communautés et des États face à la menace climatique va s'accroître à mesure du ralentissement de la croissance économique, de la baisse des revenus et de la contraction de l'aide au développement. Le fléchissement de l'activité économique s'accompagnera, certes, d'un ralentissement temporaire des émissions, mais les populations demeureront malgré tout vulnérables aux effets du changement climatique qui s'est déjà amorcé. Et en l'absence d'efforts concertés visant à dissocier les émissions de la croissance, les émissions s'accéléreront à nouveau dès que la reprise économique se confirmera.

Dans nombre de pays développés et en développement, les pouvoirs publics s'emploient à faire face à la crise en engageant de vastes programmes d'investissement public. Ainsi, plusieurs pays ont prévu d'engager des dépenses comprises entre 2,4 et 2,8 milliers de milliards de dollars au titre de plans nationaux et régionaux de relance de l'économie¹²⁰. L'objectif est de préserver les emplois et d'en créer de nouveaux en stimulant la demande effective (mesure comptant au nombre des actions prioritaires pour inverser la tendance). La Banque mondiale a proposé que 0,7 % des ressources que les pays à revenu élevé investissent dans leurs programmes de relance servent à alimenter un « fonds d'aide aux pays vulnérables » visant à réduire au minimum le coût social de la crise économique dans les pays en développement¹²¹.

Pour un plan de relance écologique Malgré le chaos économique, les mesures de lutte contre le changement climatique conservent tout leur caractère d'urgence. Cette urgence est d'autant plus pressante que la pauvreté et la vulnérabilité s'aggravent partout dans le monde. C'est pourquoi le débat public s'est porté récemment sur la possibilité de recourir à des mesures budgétaires pour promouvoir une économie plus écologique, de manière à lutter contre le changement climatique tout en favorisant la croissance.

Comment l'effet de relance de ces mesures budgétaires peut-il contribuer à la fois au redressement économique et à l'atténuation du changement climatique ? La réponse à apporter à la problématique climatique passe nécessairement par l'intervention des pouvoirs publics, notamment parce que le changement climatique résulte d'externalités négatives de grande ampleur. Et parce que la crise exceptionnelle qui secoue actuellement les marchés financiers et l'économie réelle appelle des dépenses publiques.

Investir dans les politiques climatiques peut-être un moyen efficace de faire face à la crise économique dans le court terme. L'utilisation de technologies sobres en carbone pourrait favoriser une augmentation nette du nombre d'emplois, dans la mesure où ces technologies nécessitent une main-d'œuvre plus importante que les secteurs à forte intensité de carbone¹²². Selon certaines estimations, des investissements publics d'un milliard de dollars dans des projets à caractère environnemental permettraient de créer 30 000 emplois en un an aux États-Unis, soit 7 000 de plus que les projets d'infrastructure traditionnels¹²³. D'autres estimations indiquent qu'en dépensant 100 milliards de dollars, on pourrait créer près de 2 millions d'emplois, dont la moitié environ seraient des emplois directs¹²⁴. Toutefois, l'effet de ces investissements publics sur l'emploi pourrait finir par s'estomper, comme c'est le cas pour tous les programmes de relance de courte durée¹²⁵.

Dépenses mondiales consacrées à l'environnement

Plusieurs États ont déjà intégré à leurs programmes de relance économique une composante « écologique » axée notamment sur les technologies sobres en carbone, la maîtrise de l'énergie, la recherche-développement et la gestion des ressources en eau et des déchets (figure 1.4). Ainsi, la République de Corée prévoit de mettre en œuvre un plan de relance budgétaire qui sera constitué à 80,5 % de projets sur l'environnement. De même, les États-Unis consacreront 100 à 130 milliards de dollars, au titre de leur programme de relance, à des investissements axés sur le changement climatique. Globalement, quelque 436 milliards de dollars seront investis dans des projets concernant l'environnement, dont la moitié dès 2009, dans le cadre des différents programmes de relance engagés de par le monde¹²⁶.

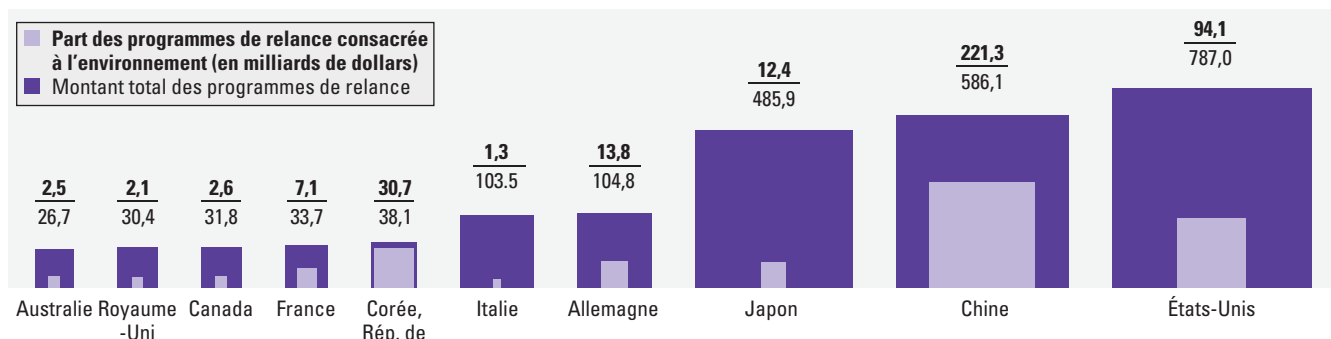
Les résultats de ces investissements seront fonction de la rapidité avec laquelle ils pourront être entrepris, de leur capacité à créer des emplois et à promouvoir l'utilisation des ressources sous-exploitées et de leur contribution à une réorientation des économies qui privilégiera la mise en place d'infrastructures durables à faible intensité de carbone, la réduction des émissions et le renforcement des capacités de résistance aux chocs climatiques¹²⁷. Les investissements dans l'amélioration du rendement énergétique des bâtiments publics, par exemple, sont particulièrement attrayants dans la mesure où ils peuvent généralement être engagés rapidement, nécessitent une main-d'œuvre importante et offrent au secteur public la possibilité de réaliser des économies durables¹²⁸. Les interventions visant à financer d'autres mesures de maîtrise de l'énergie destinées à réduire le coût social de l'énergie dans les bâtiments privés, de même que la mise en place d'installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement ou l'amélioration de la circulation, présentent les mêmes avantages.

Les portefeuilles de projets et d'investissements prévus varient considérablement d'un pays à l'autre, en fonction des conditions économiques et des besoins en matière de

création d'emplois. En Amérique latine, la plupart des investissements seront réalisés dans le secteur des travaux publics, notamment pour la construction d'autoroutes, ce qui présente un potentiel limité en matière d'atténuation¹²⁹. En République de Corée, où 960 000 emplois devraient être créés dans les quatre prochaines années, une part importante des investissements prévus, soit 13,3 milliards de dollars sur une enveloppe totale de 36 milliards de dollars, sera consacrée à trois grands projets : la régénération des cours d'eau, le développement des transports en commun et du réseau ferroviaire et la conservation de l'énergie dans les villages et les établissements scolaires. Ce programme de relance par l'investissement devrait permettre la création de 500 000 emplois¹³⁰. De son côté, la Chine investira 85 milliards de dollars dans le développement du transport ferroviaire afin de promouvoir des modes de transport sobres en carbone susceptibles de concurrencer le transport routier et aérien, mais aussi de réduire les goulots d'étranglement. Une deuxième enveloppe de 70 milliards sera allouée à la mise en place d'un nouveau réseau électrique qui permettra d'améliorer le rendement énergétique et de faciliter l'accès à l'électricité¹³¹. Aux États-Unis, deux projets relativement peu coûteux (un projet de rénovation des bâtiments fédéraux doté d'un budget de 6,7 milliards de dollars, et un autre axé sur le renforcement de la capacité de résistance des logements aux phénomènes météorologiques, pour un budget de 6,2 milliards de dollars) devraient générer, selon les estimations, 325 000 emplois par an¹³².

Dans la plupart des pays en développement, la composante « réduction des émissions » des projets mis en œuvre au titre des programmes de relance est plutôt limitée, mais pourrait néanmoins favoriser le renforcement des capacités de résistance au changement climatique et la création d'emplois. En Colombie, l'amélioration des réseaux d'approvisionnement en eau et d'assainissement devrait créer 100 000 emplois directs pour chaque milliard de dollars investi, tout en réduisant le risque de maladies à transmission hydrique¹³³. Les pays développés et en développement

Figure 1.4 La part des programmes de relance consacrée à l'environnement est en augmentation



doivent envisager des mesures d'adaptation axées notamment sur la remise en état des cours d'eau et la régénération des zones humides, activités qui peuvent nécessiter une main-d'œuvre particulièrement importante et contribuer de ce fait à réduire la vulnérabilité physique et financière de certains groupes. Le défi consisterait à garantir la pérennisation des mesures d'adaptation après l'achèvement des programmes d'investissement.

Ces chiffres préliminaires évolueront probablement à mesure du déroulement de la crise. Rien ne permet d'affirmer que les composantes écologiques des programmes de relance par l'investissement public contribueront effectivement à créer des emplois ou à réduire l'intensité de carbone. Quand bien même les résultats seraient très positifs, les interventions budgétaires ne suffiront pas à éliminer le risque lié à l'emprise des technologies à forte intensité de carbone et à la vulnérabilité climatique. Néanmoins, l'occasion qui se présente de lancer des programmes d'investissement en faveur de l'environnement et de jeter les bases de modes de développement économique sobres en carbone est bien réelle et doit être saisie.

Des transformations fondamentales à moyen et long terme

Il ne suffira pas d'intégrer aux programmes de relance engagés en réponse à la crise financière des volets « investissement » axés sur les technologies à faible intensité de carbone et le renforcement des capacités de résistance aux chocs climatiques pour venir à bout des problèmes à long terme qu'engendre le changement climatique. Il faudra aussi apporter des modifications fondamentales aux dispositifs de protection sociale, aux mécanismes de financement sur le marché du carbone, aux programmes de recherche-développement, aux marchés de l'énergie et à la gestion des ressources en terre et en eau.

Dans le moyen et le long terme, le défi consistera à trouver des solutions nouvelles pour atteindre le double objectif du développement durable et de la limitation du réchauffement climatique. La conclusion d'un accord mondial juste et équitable marquerait à cet égard une étape majeure qui contribuerait à éviter un scénario catastrophe. Mais il faudra pour cela modifier les modes de vie à forte intensité de carbone des pays riches (et des riches où qu'ils se trouvent) et les trajectoires de croissance à forte intensité de carbone des pays en développement, ce qui suppose d'opérer un certain nombre de changements socioéconomiques complémentaires.

L'adoption de normes sociales valorisant des modes de vie sobres en carbone pourrait influencer de manière déterminante sur le succès d'une telle entreprise (voir chapitre 8). Cela étant, l'évolution des comportements doit s'accompagner de réformes institutionnelles, de programmes de financement complémentaires et d'innovations technologiques de nature à écarter tout risque d'un accroissement irréversible et catastrophique des températures. En tout état de cause, et quel

que soit le scénario retenu, la mise en œuvre de politiques publiques résolues ne peut qu'aider les économies à absorber les chocs résultant des impacts inévitables du changement climatique, et contribuer à la réduction des pertes sociales nettes et à la protection du bien-être de ceux qui risquent d'être le plus durement touchés.

Les interventions engagées en réponse au changement climatique pourraient de surcroît enclencher une dynamique qui permettra de renforcer le processus de développement et de promouvoir l'adoption de programmes de réforme propices à l'amélioration du bien-être, et dont on ne pourra de toute façon pas faire l'économie. À titre d'exemple, les efforts conjoints d'amélioration du rendement énergétique et de promotion du développement pourraient trouver une expression à la fois politique et tangible au travers de villes plus écologiques et mieux équipées pour faire face au changement climatique. La mise en place de schémas d'aménagement urbain améliorés visant à promouvoir la maîtrise de l'énergie par le biais, notamment, d'un accroissement de l'offre de transport public et l'application d'une taxe de congestion, pourrait aussi contribuer à améliorer la sécurité physique et la qualité de vie des populations urbaines. Les solutions à mettre en œuvre dépendent dans une large mesure de notre capacité à renforcer ou à remplacer des politiques et des mécanismes institutionnels inadaptes, en privilégiant les changements qu'appelle la menace du réchauffement climatique, et en renforçant l'assistance technique et financière internationale.

Les citoyens auront aussi, à titre individuel, un rôle majeur à jouer dans le débat public et dans la mise en œuvre des solutions envisageables. Les sondages d'opinion montrent à cet égard que les citoyens du monde entier sont préoccupés par le changement climatique et qu'ils continuent de s'intéresser à cette question malgré la récente tourmente financière¹³⁴ (bien que les tendances observées récemment aux États-Unis soient plus nuancées)¹³⁵. Par ailleurs, la plupart des États reconnaissent, du moins officiellement, la gravité de la menace que représente le réchauffement climatique. La communauté internationale tout entière a pris conscience du problème, comme en témoigne le prix Nobel de la paix 2007, qui a récompensé l'action menée en matière d'évaluation scientifique et de communication dans le domaine du changement climatique.

Le défi que les décideurs vont devoir relever consiste à faire en sorte que cette prise de conscience puisse stimuler une réforme des institutions et l'évolution des comportements, et serve les intérêts des populations les plus vulnérables¹³⁶. Après tout, les crises financières des années 90 ont été à l'origine de la réforme des dispositifs de protection sociale en Amérique latine et ont donné naissance à Progres-Oportunidades au Mexique et à Bolsa Escola-Bolsa Familia au Brésil, deux des innovations les plus remarquables de ces dernières décennies en matière de politique sociale¹³⁷.

La récession qui sévit actuellement a ébranlé la confiance dans les marchés non réglementés. L'opinion attend désormais des réglementations plus efficaces, davantage d'intervention et plus de transparence et d'obligation de rendre compte de la part des pouvoirs publics. Pour faire face aux bouleversements climatiques, il faut mettre en place des réglementations supplémentaires intelligentes sur le plan climatique afin de favoriser l'adoption de stratégies innovantes en matière d'atténuation et d'adaptation. De telles politiques permettront de réunir les conditions propices à la mise en œuvre d'interventions publiques, d'ampleur et de portée adéquates, indispensables pour pallier les conséquences du changement climatique – la plus grave défaillance du marché de l'histoire de l'humanité.

Notes

- 1 Weiss et Bradley 2001.
- 2 Ristvet et Weiss 2000.
- 3 Weiss 2000.
- 4 Harrington et Walton 2008 ; IWM et CEGIS 2007.
- 5 Schmidhuber et Tubiello 2007.
- 6 Bates *et al.* 2008.
- 7 Commission mondiale pour l'environnement et le développement (CMED) 1987.
- 8 Chen et Ravallion 2008.
- 9 Banque mondiale 2009a.
- 10 Nations Unies 2008.
- 11 Chen et Ravallion 2008.
- 12 AIE 2007.
- 13 Nations Unies 2008.
- 14 Nations Unies 2008.
- 15 PNUD 2008.
- 16 IARU 2009.
- 17 Smith *et al.* 2009.
- 18 Patriquin *et al.* 2005 ; Patriquin, Wellstead et White 2007 ; Pacific Institute for Climate Solutions 2008.
- 19 Le constat vaut y compris si l'on tient compte du fait qu'en règle générale, les pays les plus pauvres sont aussi les plus chauds en moyenne. Dell, Jones et Olken 2008.
- 20 Dell, Jones et Olken 2008.
- 21 Brown *et al.* 2009.
- 22 GIEC 2007b.
- 23 Cruz *et al.* 2007.
- 24 Easterling *et al.* 2007.
- 25 Auffhammer, Ramanathan et Vincent 2006.
- 26 Guiteras 2007.
- 27 Ligon et Sadoulet 2007.
- 28 Campbell-Lendrum, Corvalan et Pruss-Ustun 2003.
- 29 Parmi les nombreux pays et régions concernés, figurent notamment la Colombie (Vergara 2009), le Caucase (Rabie *et al.* 2008), l'Éthiopie (Confalonieri *et al.* 2007) et les îles du Pacifique Sud (Potter 2008).
- 30 Molesworth *et al.* 2003.
- 31 Confalonieri *et al.* 2007.
- 32 Confalonieri *et al.* 2007 ; Morris *et al.* 2002.
- 33 Carter *et al.* 2007.
- 34 Banque mondiale 2001.
- 35 Azariadis et Stachurski 2005.
- 36 Lokshin et Ravallion 2000 ; Jalan et Ravallion 2004 ; Dercon 2004.
- 37 Dercon 2004.
- 38 Mueller et Osgood 2007.
- 39 Azariadis et Stachurski 2005.
- 40 Rosenzweig et Binswanger 1993.
- 41 Jensen 2000.
- 42 Alderman, Hoddinott et Kinsey 2006.
- 43 Ces chiffres recouvrent la totalité des gaz à effet de serre mais ne tiennent pas compte des émissions liées au changement d'affectation des terres. Lorsqu'il en est tenu compte, la part des pays en développement dans les émissions mondiales est proche de 60 % .
- 44 WRI 2008.
- 45 Chomitz et Meisner 2008.
- 46 Calculs établis par l'auteur à partir des outils d'analyse du climat (Climate Analysis Indicators Tools – CAIT) du World Resources Institute (WRI, 2008). Dans les pays à revenu élevé, les émissions par habitant de gaz à effet de serre (à l'exclusion de celles liées au changement d'affectation des terres) sont comprises entre 4,5 et 55,5 tonnes de CO₂e (entre 7 et 27, si l'on exclut les petits États insulaires et les pays producteurs de pétrole). Les émissions pour 1 000 dollars de produit, au taux de change du marché, sont comprises entre 0,15 et 1,72 tonne dans les pays à revenu élevé ; si la production est calculée sur la base de la parité de pouvoir d'achat, on obtient une fourchette allant de 0,20 à 1,04 tonne.
- 47 Marcotullio et Schulz 2007.
- 48 Rosenberg 1971.
- 49 GIEC 2007a.
- 50 Lipovsky 1995.

*« Prenez soin de votre terre,
Veillez sur ses créatures.
Ne laissez pas à vos enfants
Une planète morte en héritage ».*

— Lakshmi Shree, 12 ans, Inde



- 51 Voir les chiffres relatifs aux exportations et à la production annuelles d'éthanol du Brésil
<http://english.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> (consulté en décembre 2008).
- 52 Ummel et Wheeler 2008.
- 53 Hill *et al.* 2009.
- 54 Mitchell 2008.
- 55 Ivanic et Martin 2008.
- 56 Ng et Aksoy 2008 ; Banque mondiale 2008.
- 57 Cramton et Kerr 1999.
- 58 Ekins et Dresner 2004.
- 59 Brenner, Riddle et Boyce 2007.
- 60 Benitez *et al.* 2008.
- 61 Estache 2009.
- 62 Etriamihaja et Vecchi 2007.
- 63 Komives *et al.* 2005.
- 64 Johnson *et al.* 2008.
- 65 Pindyck 2007 ; Weitzman 2009a ; Hallegatte, Dumas et Hourcade 2009.
- 66 Yohe 1999 ; Toth et Mwetosya 2001.
- 67 Lempert et Schlesinger 2000.
- 68 Nordhaus 2008a. Pour plus d'informations sur les modèles et leurs résultats, voir notamment Heal 2008 ; Fisher *et al.* 2007 ; Tol 2005 ; et Hourcade et Ambrosi 2007.
- 69 L'estimation de 5 % tient en grande partie au taux d'actualisation, mais l'écart entre 5 et 20 % tient à la prise en compte des impacts non marchands (santé et environnement) et de la sensibilité du climat aux gaz à effet de serre, qui pourrait s'accroître, ainsi qu'à l'utilisation de coefficients de pondération, qui répond à un souci d'équité. Stern 2007 ; Dasgupta 2007 ; Dasgupta 2008.
- 70 Voir Dasgupta 2007 ; Dasgupta 2008 ; et l'encadré 1.4.
- 71 Dasgupta 2008.
- 72 Heal 2008 ; Sterner et Persson 2008.
- 73 Guesnerie 2004 ; Heal 2005 ; Hourcade et Ambrosi 2007.
- 74 Sterner et Persson 2008.
- 75 Hourcade *et al.* (2001) analysent la sensibilité à la forme de la courbe des dommages de sept modèles d'évaluation intégrés, et notent que les trajectoires de concentrations de carbone optimales pourraient être très éloignées des observations actuelles si des dommages importants surviennent avec un réchauffement de 3 °C ou des concentrations de CO₂ de 500 parties par million (ppm). Globalement, ils observent que des mesures précoces peuvent se justifier si l'on attribue une probabilité non nulle à l'accroissement très rapide des dommages à mesure du réchauffement, de sorte que les dommages augmentent plus rapidement que le rythme auquel le processus d'actualisation érode leur poids.
- 76 Solomon *et al.* 2009.
- 77 Mignone *et al.* 2008.
- 78 Folger 2006 ; Auld *et al.* 2007.
- 79 Le processus de piégeage et de stockage du carbone est décrit au chapitre 4, encadré 4.6.
- 80 Shalizi et Lecocq 2009.
- 81 Pour un tour d'horizon de cette question, voir Arthur 1994 ; pour plus d'informations sur l'accroissement des rendements et la nécessité d'investir dans des technologies innovantes de maîtrise de l'énergie, voir Mulder 2005.
- 82 Weitzman 2007 ; Weitzman 2009a ; Weitzman 2009b ; Nordhaus 2009.
- 83 Gjerde, Grepperud et Kverndokk 1999 ; Kousky *et al.* 2009.
- 84 Hallegatte, Dumas et Hourcade 2009.
- 85 Voir les études récentes de Pindyck (2007) et Quiggin (2008).
- 86 O'Neill *et al.* 2006.
- 87 Dans leurs modèles, Sterner et Persson (2008) intègrent les biens environnementaux à la fonction d'utilité.
- 88 Portney et Weyant 1999.
- 89 Fisher *et al.* 2007 ; Hourcade et Ambrosi 2007 ; Tol 2005.
- 90 Diamond 2005.
- 91 Komives *et al.* 2007 ; Diamond 2005.
- 92 Diamond 2005.
- 93 Hof, den Elzen et van Vuuren 2008.
- 94 Bruckner *et al.* 1999.
- 95 Yohe 1999.
- 96 Toth et Mwetosya 2001.
- 97 Lempert et Schlesinger 2000.
- 98 Savage 1951 ; Savage 1954.
- 99 Klaus, Yohe et Schlesinger 2008.
- 100 GIEC 2007a.
- 101 Voir à la figure 3 de l'Abrégé les chiffres relatifs aux émissions cumulées par rapport à la proportion de la population.
- 102 Selon l'AIE (2008), les émissions annuelles liées à la production d'énergie des pays non membres de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) ont atteint en 2004 le même niveau que celles des pays membres de l'Organisation (soit environ 13 gigatonnes de CO₂ par an). L'analyse de la base de données CAIT du WRI sur les émissions, qui s'appuie sur une définition des pays développés et en développement identique à celle de la Banque mondiale, confirme cette tendance ; WRI 2008.
- 103 Wheeler et Ummel 2007.
- 104 Le Plan d'action de Bali est présenté en détail dans l'encadré 5.1 du chapitre 5.
- 105 Pour 2030, on estime cette proportion à 65-70 % de la réduction des émissions, ou 45-70 % des coûts d'investissement. Sur l'ensemble du siècle (sur la base des valeurs actualisées de tous les investissements en 2100), la part des investissements qui devraient être réalisés dans les pays en développement est, selon les estimations, comprise entre 65 et 70 %. Voir la note 47 de l'Abrégé pour plus d'informations sur les sources de ces données.
- 106 Edmonds *et al.* 2008.
- 107 Nordhaus 2008b.
- 108 Voir notamment Edmonds *et al.* 2008.
- 109 Voir la note 108 ci-dessus et l'encadré 5.1 au chapitre 5.
- 110 Hamilton 2009.
- 111 Barrett 2006 ; Barrett 2007.
- 112 Barrett et Stavins 2003.
- 113 Carraro, Eykmans, et Finus 2009 ; Carlo Carraro (communication personnelle), 2009.
- 114 Brinsley et Christie 2009.
- 115 Bureau of Labor Statistics 2009.
- 116 OIT 2009.
- 117 Banque mondiale 2009a.
- 118 Ratha, Mohapatra et Xu 2008.
- 119 Banco de México, <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE99&locale=es> (consulté le 15 mai 2009).
- 120 Robins, Clover et Singh 2009.

- 121 Robert B. Zoellick, « A Stimulus Package for the World », *New York Times*, 22 janvier 2009.
- 122 Fankhauser, Sehleier et Stern 2008.
- 123 Houser, Mohan et Heilmayr 2009.
- 124 Pollin *et al.* 2008.
- 125 Fankhauser, Sehleier et Stern 2008.
- 126 Robins, Clover et Singh 2009.
- 127 Bowen *et al.* 2009.
- 128 Bowen *et al.* 2009 ; Houser, Mohan et Heilmayr 2009.
- 129 Schwartz, Andres et Dragoiu 2009.
- 130 Barbier 2009.
- 131 Barbier 2009.
- 132 Calculs de l'auteur d'après Houser, Mohan et Heilmayr 2009.
- 133 Schwartz, Andres et Dragoiu 2009.
- 134 Accenture 2009.
- 135 Pew Research Center for People and the Press 2009.
- 136 Ravallion 2008.
- 137 Ces programmes ont été les premiers à mettre en place des dispositifs incitatifs dont l'objet est d'encourager directement les comportements de nature à réduire la pauvreté en versant des ressources aux ménages pauvres en complément de leurs revenus. Contrairement aux mécanismes traditionnels de garantie de ressources, ces programmes n'effectuent de transferts monétaires en faveur des ménages pauvres qu'à la condition qu'ils participent à des programmes de nutrition et de santé (vaccination, soins anténataux) ou si leurs enfants sont scolarisés. Fiszbein et Schady 2009.

Bibliographie

- ACASIAN (Australian Consortium for the Asian Spatial Information and Analysis Network). 2004. *China Rail Transport Network database*. Griffith University, Brisbane.
- Accenture. 2009. *Shifting the Balance from Intention to Action: Low Carbon, High Opportunity, High Performance*. New York : Accenture.
- Adams, H. D., M. Guardiola-Claramonte, G. A. Barron-Gafford, J. C. Villegas, D. D. Breshears, C. B. Zou, P. A. Troch et T. E. Huxman. 2009. « Temperature Sensitivity of Drought-Induced Tree Mortality Portends Increased Regional Die-Off under Global-Change-Type Drought. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (17): 7063-66.
- Aguilar, L. 2006. *Climate Change and Disaster Mitigation: Gender Makes a Difference*. Union mondiale pour la nature, Gland, Suisse.
- AIE (Agence internationale pour l'énergie). 2007. *World Energy Outlook 2007*. Paris: AIE.
- . 2008. *World Energy Outlook 2008*. Paris: AIE.
- Alderman, H., J. Hoddinott et B. Kinsey. 2006. « Long-Term Consequences of Early Childhood Malnutrition. » *Oxford Economic Papers* 58 (3): 450-74.
- Andriamihaja, N. et G. Vecchi. 2007. *An Evaluation of the Welfare Impact of Higher Energy Prices in Madagascar*. Série des document de travail du FEM 106, Banque mondiale, Région Afrique, Washington.
- Armstrong, R., B. Raup, S. J. S. Khalsa, R. Barry, J. Kargel, C. Helm et H. Kieffer. 2005. « GLIMS Glacier Database. » National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO.
- Arthur, W. B. 1994. *Increasing Returns and Path-Dependence in the Economy*. Ann Arbor, MI : University of Michigan Press.
- Assunção, J. J. et F. Chein. 2008. « Climate Change, Agricultural Productivity and Poverty. » Document de référence pour de la Torre *et al.*, 2008, *Low Carbon, High Growth: Latin America Responses to Climate Change*. Washington, Banque mondiale.
- Auffhammer, M., V. Ramanathan et J. R. Vincent. 2006. « Integrated Model Shows that Atmospheric Brown Clouds and Greenhouse Gases Have Reduced Rice Harvests in India. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (52): 19668-72.
- Auld, G, S. Bernstein, B. Cashore et K. Levin. 2007. « Playing It Forward: Path Dependency, Progressive Incrementalism, and the 'Super Wicked' Problem of Global Climate Change. » Étude présentée à l'International Studies Association à sa 48^e convention annuelle, 28 février, Chicago.
- Azariadis, C. et J. Stachurski. 2005. « Poverty Traps. » In *Handbook of Economic Growth, vol. 1*, dir. de publication : P. Aghion et S. Durlauf. Amsterdam : Elsevier.
- Banque mondiale. 2001. « Hurricane Mitch: The Gender Effects of Coping and Crises. » Notes of the Development Economics Vice Presidency and Poverty Reduction and Economic Management Network 56, Washington.
- . 2008. « Double Jeopardy: Responding to High Food and Fuel Prices. » Working Paper 44951, Washington.
- . 2009a. *Global Monitoring Report 2009: A Development Emergency*. Washington : Banque mondiale.
- . 2009b. Déclaration de la Banque mondiale à la dixième session du Conseil des droits de l'homme des Nations Unies. Genève.
- . 2009c. *World Development Indicators 2009*. Washington : Banque mondiale.
- Barbier, E. B. 2009. *A Global Green New Deal*. Nairobi : Programme des Nations Unies pour l'environnement.
- Barrett, S. 2006. « The Problem of Averting Global Catastrophe. » *Chicago Journal of International Law* 6 (2): 1-26.
- . 2007. *Why Cooperate? The Incentive to Supply Global Public Goods*. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.
- Barrett, S. et R. Stavins. 2003. « Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements. » *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 3 (4): 349-76.
- Bates, B., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. Palutikof. 2008. « Climate Change and Water. » Document technique, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève.
- Benitez, D., R. Fuentes Nieva, T. Serebrisky et Q. Wodon. 2008. « Assessing the Impact of Climate Change Policies in Infrastructure Service Delivery: A Note on Affordability and Access. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Bowen, A., S. Fankhauser, N. Stern et D. Zenghelis. 2009. *An Outline of the Case for a "Green" Stimulus*. Londres : Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and the Centre for Climate Change Economics and Policy.
- Brenner, M. D., M. Riddle et J. K. Boyce. 2007. « A Chinese Sky Trust? Distributional Impacts of Carbon Charges and Revenue Recycling in China. » *Energy Policy* 35 (3): 1771-84.
- Brinsley, J. et R. Christie. 2009. « Paulson to Work Quickly with Congress to Revive Plan (Update 1). » Bloomberg, 29 septembre.
- Brown, C., R. Meeks, Y. Ghile et K. Hunu. 2009. « An Empirical Analysis of the Effects of Climate Variables on National Level Economic Growth. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Bruckner, T., G. Petschel-Held, F. L. Toth, H.-M. Fussel, C. Helm, M. Leimbach et H.-J. Schellnhuber. 1999. « Climate Change Decision

- Support and the Tolerable Windows Approach. » *Environmental Modeling and Assessment* 4: 217-34.
- Bureau of Labor Statistics. 2009. « Employment Situation Summary. » Washington.
- Campbell-Lendrum, D. H., C. F. Corvalan et A. Pruss-Ustun. 2003. « How Much Disease Could Climate Change Cause? » In *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*, dir. de publication : A. J. McMichael, D. H. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalan, K. L. Ebi, A. Githeko, J. D. Scheraga et A. Woodward. Genève : Organisation mondiale de la santé.
- Caney, S. 2009. « Ethics and Climate Change. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Carraro, C., J. Eykmans et M. Finus. 2009. « Optimal Transfers and Participation Decisions in International Environmental Agreements. » *Review of International Organizations* 1 (4): 379-96.
- Carter, M. R., P. D. Little, T. Mogues et W. Negatu. 2007. « Poverty Traps and Natural Disasters in Ethiopia and Honduras. » *World Development* 35 (5): 835-56.
- Chan, K. W. 2008. « Internal Labor Migration in China: Trends, Geographical Distribution and Policies. » document présenté lors de la réunion du Groupe d'experts des Nations Unies sur la répartition de la population, l'urbanisation, les migrations internes et le développement. New York.
- Chen, S. et M. Ravallion. 2008. « The Developing World Is Poorer than We Thought, But No Less Successful in the Fight against Poverty. » Policy Research Working Paper 4703, Banque mondiale, Washington.
- Chomitz, K. et C. Meisner. 2008. « A Simple Benchmark for CO₂ Intensity of Economies. » Washington, DC: Note de référence pour le Groupe d'évaluation interne de la Banque mondiale sur le changement climatique et le Groupe de la Banque mondiale.
- CMED (Commission mondiale de l'environnement et du développement). 1987. *Our Common Future*. Oxford, Royaume-Uni : CMED.
- Confalonieri, U., B. Menne, R. Akhtar, K. L. Ebi, M. Hauengue, R. S. Kovats, B. Revich et A. Woodward. 2007. « Human Health. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication : M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Cramton, P. et S. Kerr. 1999. « The Distributional Effect of Carbon Regulation: Why Auctioned Carbon Permits Are Attractive and Feasible. » In *The Market and the Environment*, dir. de publication T. Sterner. Northampton, Royaume-Uni : Edward Elgar Publishing.
- Cruz, R. V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafari, C. Li et N. Huu Ninh. 2007. « Asia. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Dasgupta, P. 2007. « Comments on the Stern Review's Economics of Climate Change. » *National Institute Economic Review* 199: 4-7.
- . 2008. « Discounting Climate Change. » *Journal of Risk and Uncertainty* 37 (2): 141-69.
- Dell, M., B. F. Jones et B. A. Olken. 2008. « Climate Change and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. » Working Paper 14132, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- . 2009. « Temperature and Income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates. » *American Economic Review* 99 (2): 198-204.
- Dercon, S. 2004. « Growth and Shocks: Evidence from Rural Ethiopia. » *Journal of Development Economics* 74 (2): 309-29.
- Diamond, J. 2005. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. New York : Viking.
- Easterling, W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber et F. Tubiello. 2007. « Food, Fibre and Forest Products. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Edmonds, J., L. Clarke, J. Lurz et M. Wise. 2008. « Stabilizing CO₂ Concentrations with Incomplete International Cooperation. » *Climate Policy* 8 (4): 355-76.
- Ekins, P. et S. Dresner. 2004. *Green Taxes and Charges: Reducing their Impact on Low-income Households*. York, Royaume-Uni : Joseph Rowntree Foundation.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2002. « ESRI Data and Maps. » Redlands, CA.
- Estache, A. 2009. « How Should the Nexus between Economic and Environmental Regulation Work for Infrastructure Services? » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Fankhauser, S., F. Sehleier et N. Stern. 2008. « Climate Change, Innovation and Jobs. » *Climate Policy* 8: 421-29.
- Fisher, B. S., N. Nakićenović, K. Alfsen, J. Corfee Morlot, F. de la Chesnaye, J.-C. Hourcade, K. Jiang, M. Kainuma, E. La Rovere, A. Matysek, A. Rana, K. Riahi, R. Richels, S. Rose, D. van Vuuren et R. Warren. 2007. « Issues Related to Mitigation in the Long-Term Context. » In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Fiszbein, A. et N. Schady. 2009. *Conditional Cash Transfers: Reducing Present and Future Poverty*. Washington : Banque mondiale.
- Folger, T. 2006. « Can Coal Come Clean? How to Survive the Return of the World's Dirtiest Fossil Fuel. » Décembre. *Discover Magazine*.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007a. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genève : GIEC.
- . 2007b. « Summary for Policymakers. » In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Gjerde, J., S. Grepperud et S. Kverndokk. 1999. « Optimal Climate Policy under the Possibility of a Catastrophe. » *Resource and Energy Economics* 21 (3-4): 289-317.

- Guesnerie, R. 2004. « Calcul économique et développement durable. » *La Revue économique* 55 (3): 363-82.
- Guiteras, R. 2007. « The Impact of Climate Change on Indian Agriculture. » Department of Economics Working Paper, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Hallegatte, S. 2008. « An Adaptive Regional Input-Output Model and its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina. » *Risk Analysis* 28 (3): 779-99.
- Hallegatte, S., P. Dumas et J.-C. Hourcade. 2009. « A Note on the Economic Cost of Climate Change and the Rationale to Limit it to 2°K. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Hamilton, K. 2009. « Delayed Participation in a Global Climate Agreement. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Harrington, J. et T. L. Walton. 2008. *Climate Change in Coastal Areas in Florida: Sea Level Rise Estimation and Economic Analysis to Year 2080*. Florida State University, Tallahassee, FL.
- Heal, G. 2005. « Intertemporal Welfare Economics and the Environment. » In *Handbook of Environmental Economics, Vol. 3*, dir. de publication K.-G. Maler et J. R. Vincent. Amsterdam : Elsevier.
- . 2008. *Climate Economics: A Meta-Review and Some Suggestions*. Working Paper 13927, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Hill, J., S. Polasky, E. Nelson, D. Tilman, H. Huo, L. Ludwig, J. Neumann, H. Zheng et D. Bonta. 2009. « Climate Change and Health Costs of Air Emissions from Biofuels and Gasoline. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (6): 2077-82.
- Hof, A. F., M. G. J. den Elzen et D. P. van Vuuren. 2008. « Analyzing the Costs and Benefits of Climate Policy: Value Judgments and Scientific Uncertainties. » *Global Environmental Change* 18 (3): 412-24.
- Houghton, R. A. 2009. « Emissions of Carbon from Land Management. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2010.
- Hourcade, J.-C. et P. Ambrosi. 2007. « Quelques leçons d'un essai à risque, l'évaluation des dommages climatiques par Sir Nicholas Stern. » *Revue d'économie politique* 117 (4): 33-46.
- Hourcade, J.-C., M. Ha-Duong, A. Grübler et R. S. J. Tol. 2001. « INASUD Project Findings on Integrated Assessment of Climate Policies. » *Integrated Assessment* 2 (1): 31-35.
- Houser, T., S. Mohan et R. Heilmayr. 2009. *A Green Global Recovery? Assessing U.S. Economic Stimulus and the Prospects for International Coordination*. Policy Brief PB09-03, World Resources Institute, Washington.
- Huang, Y. et A. Magnoli, dir. de publication. 2009. *Reshaping Economic Geography in East Asia*. Washington, Banque mondiale.
- IARU (Alliance internationale des universités de recherche). 2009. *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Copenhague.
- Ivanic, M. et W. Martin. 2008. « Implications of Higher Global Food Prices for Poverty in Low-Income Countries. » *Policy Research Working Paper 4594*, Banque mondiale, Washington.
- IWM (Institute of Water Modelling) et CEGIS (Center for Environmental and Geographical Information Services). 2007. *Investigating the Impact of Relative Sea-Level Rise on Coastal Communities and Their Livelihoods in Bangladesh*. Dhaka : IWM, CEGIS.
- Jalan, J. et M. Ravallion. 2004. « Household Income Dynamics in Rural China. » In *Insurance against Poverty*, dir. de publication S. Dercon. Oxford, Royaume-Uni : Oxford University Press.
- Jensen, R. 2000. « Agricultural Volatility and Investments in Children. » *American Economic Review* 90 (2): 399-404.
- Johnson, T., F. Liu, C. Alatorre et Z. Romo. 2008. « Mexico Low-Carbon Study—México: Estudio Para la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC). » Banque mondiale, Washington.
- Klaus, K., G. Yohe et M. Schlesinger. 2008. « Managing the Risks of Climate Thresholds: Uncertainties and Information Needs. » *Climatic Change* 91: 5-10.
- Komives, K., V. Foster, H. Halpern, Q. Wodon et R. Krznic. 2007. *Food Coupons and Bald Mountains: What the History of Resource Scarcity Can Teach Us about Tackling Climate Change*. New York : Programme des Nations Unies pour le développement.
- Komives, K., V. Foster, J. Halpern, Q. Wodon et R. Abdullah. 2005. *Water, Electricity, and the Poor: Who Benefits from Utility Subsidies?* Banque mondiale, Washington.
- Kousky, C., O. Rostapshova, M. A. Toman et R. Zeckhauser. 2009. « Responding to Threats of Climate Change Catastrophes. » Document de référence pour *Economics of Natural Disasters*, Division du Dispositif mondial de réduction des effets des catastrophes et de redressement, Banque mondiale, Washington.
- Kriegler, E., J. W. Hall, H. Held, R. Dawson et H. J. Schellnhuber. 2009. « Imprecise Probability Assessment of Tipping Points in the Climate System. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (13): 5041-46.
- Lambrou, Y. et R. Laub. 2004. *Gender Perspectives on the Conventions on Biodiversity, Climate Change and Desertification*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Lempert, R. J. et M. E. Schlesinger. 2000. « Robust Strategies for Abating Climate Change. » *Climatic Change* 45 (3-4): 387-401.
- Ligon, E. et E. Sadoulet. 2007. « Estimating the Effects of Aggregate Agricultural Growth on the Distribution of Expenditures. » Note de référence pour le Rapport sur le développement dans le monde 2008.
- Lipovsky, I. 1995. « The Central Asian Cotton Epic. » *Central Asian Survey* 14 (4): 29-542.
- Lokshin, M. et M. Ravallion. 2000. « Short-lived Shocks with Long-lived Impacts? Household Income Dynamics in a Transition Economy. » Policy Research Working Paper 2459, Banque mondiale, Washington.
- Marcotullio, P. J. et N. B. Schulz. 2007. « Comparison of Energy Transitions in the United States and Developing and Industrializing Economies. » *World Development* 35 (10): 1650-83.
- Martin, A. 1996. « Forestry: Gender Makes the Difference. » Union mondiale pour la nature, Gland, Suisse.
- McKinsey & Company. 2009. *Pathways to a Low-carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*. McKinsey & Company.
- Mignone, B. K., R. H. Socolow, J. L. Sarmiento et M. Oppenheimer. 2008. « Atmospheric Stabilization and the Timing of Carbon Mitigation. » *Climatic Change* 88 (3-4): 251-65.
- Mitchell, D. 2008. « A Note on Rising Food Prices. » Policy Research Working Paper 4682, Banque mondiale, Washington.
- Molesworth, A. M., L. E. Cuevas, S. J. Connor, A. P. Morse et M. C. Thomson. 2003. « Environmental Changes and Meningitis Epidemics in Africa. » *Emerging Infectious Diseases* 9 (10): 1287-93.

- Morris, S., O. Neidecker-Gonzales, C. Carletto, M. Munguia, J. M. Medina et Q. Wodon. 2002. « Hurricane Mitch and Livelihoods of the Rural Poor in Honduras. » *World Development* 30 (1): 39-60.
- Mueller, V. et D. Osgood. 2007. « Long-term Impacts of Droughts on Labor Markets in Developing Countries: Evidence from Brazil. » Earth Institute at Columbia University, New York.
- Mulder, P. 2005. *The Economics of Technology Diffusion and Energy Efficiency*. Cheltenham, Royaume-Uni : Edward Elgar.
- Nations Unies. 2008. *Objectifs du Millénaire pour le développement, Rapport 2008*. New York : ONU.
- Neumayer, E. et T. Plumper. 2007. « The Gendered Nature of Natural Disasters: The Impact of Catastrophic Events on the Gender Gap in Life Expectancy, 1981-2002. » *Annals of the Association of American Geographers* 97 (3): 551-66.
- Ng, F. et M. A. Aksoy. 2008. « Who Are the Net Food Importing Countries? » Policy Research Working Paper 4457, Banque mondiale, Washington.
- Nordhaus, W. 2008a. *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven, CT : Yale University Press.
- . 2008b. « The Role of Universal Participation in Policies to Slow Global Warming. » Étude présentée lors du troisième atelier de l'Atlantique sur l'économie de l'énergie et de l'environnement, A Toxa, Espagne.
- . 2009. « An Analysis of the Dismal Theorem. » Cowles Foundation Discussion Paper 1686, New Haven, CT.
- O'Neill, B. C., P. Crutzen, A. Grübler, M. Ha-Duong, K. Keller, C. Kolstad, J. Koomey, A. Lange, M. Obersteiner, M. Oppenheimer, W. Pepper, W. Sanderson, M. Schlesinger, N. Treich, A. Ulph, M. Webster et C. Wilson. 2006. « Learning and Climate Change. » *Climate Policy* 6: 585-89.
- OIT (Organisation internationale du travail). 2009. Tendances mondiales de l'emploi : Janvier 2009. Genève : OIT.
- Pacific Institute for Climate Solutions. 2008. « Climate Change and Health in British Columbia. » University of Victoria, Victoria.
- Parikh, J. 2008. *Gender and Climate Change: Key Issues*. New Delhi: Integrated Research and Action for Development.
- Patriquin, M., A. M. Wellstead et W. A. White. 2007. « Beetles, Trees, and People: Regional Economic Impact Sensitivity and Policy Considerations Related to the Mountain Pine Beetle Infestation in British Columbia, Canada. » *Forest Policy and Economics* 9 (8): 938-46.
- Pindyck, R. 2007. « Uncertainty in Environmental Economics. » *Review of Environmental Economics and Policy* 1 (1): 45-65.
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 2008. *Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé*. New York : PNUD.
- . 2009. *Resource Guide on Gender and Climate Change*. New York : PNUD.
- Pollin, R., H. Garrett-Peltier, J. Heintz et H. Scharber. 2008. *Green Recovery: A Program to Create Good Jobs and Start Building a Low Carbon Economy*. Washington : Center for American Progress.
- Portney, P. R. et J. P. Weyant. 1999. *Discounting and Intergenerational Equity*. Washington, DC: Resources for the Future.
- Potter, S. 2008. *The Sting of Climate Change: Malaria and Dengue Fever in Maritime Southeast Asia and the Pacific Islands*. Sydney : Lowy Institute for International Policy.
- Quiggin, J. 2008. « Uncertainty and Climate Policy. » *Economic Analysis and Policy* 38 (2): 203-10.
- Rabie, T., S. el Tahir, T. Alireza, G. Sanchez Martinez, K. Ferl et N. Cenacchi. 2008. « The Health Dimension of Climate Change. » Document de référence pour *Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia*, dir. de publication M. Fay, R. I. Block et J. Ebinger, 2010, Banque mondiale, Washington.
- Ratha, D., S. Mohapatra et Z. Xu. 2008. *Outlook for Remittance Flows 2008-2010*. Washington, Banque mondiale.
- Ravallion, M. 2008. « Bailing Out the World's Poorest. » Policy Research Working Paper 4763, World Bank, Washington.
- Ristvet, L. et H. Weiss. 2000. « Imperial Responses to Environmental Dynamics at Late Third Millennium Tell Leilan. » *Orient-Express* 2000 (4): 94-99.
- Robine, J.-M., S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel et F. R. Herrmann. 2008. « Death Toll Exceeded 70,000 in Europe during Summer of 2003. » *Comptes Rendus Biologies* 331 (2): 171-78.
- Robins, N., R. Clover et C. Singh. 2009. *A Climate for Recovery: The Colour of Stimulus Goes Green*. Londres : HSBC.
- Roemer, J. 2009. « The Ethics of Distribution in a Warming Planet. » Cowles Foundation Discussion Paper 1693, New Haven, CT.
- Rosenberg, N. 1971. « Technology and the Environment: An Economic Exploration. » *Technology and Culture* 12 (4): 543-61.
- Rosenzweig, M. R. et H. P. Binswanger. 1993. « Wealth, Weather Risk and the Composition and Profitability of Agricultural Investments. » *Economic Journal* 103 (416): 56-78.
- Savage, L. J. 1951. « The Theory of Statistical Decision. » *Journal of the American Statistical Association* 46 (253): 55-67.
- . 1954. *The Foundations of Statistics*. New York : John Wiley & Sons.
- Schmidhuber, J. et F. N. Tubiello. 2007. « Global Food Security under Climate Change. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (50): 19703-08.
- Schmidt, G. 2006. « Runaway Tipping Points of No Return. » *Real Climate*, 5 juillet 2009.
- Schwartz, J., L. Andres et G. Dragoiu. 2009. « Crisis in LAC: Infrastructure Investment, Employment and the Expectations of Stimulus. » Banque mondiale, Unité économique de LCSSD, Washington.
- Shalizi, Z. et F. Lecocq. 2009. « Economics of Targeted Mitigation Programs in Sectors with Long-Lived Capital Stock. » Policy Research Working Paper 5063, Banque mondiale, Washington.
- Singer, P. 2006. « Ethics and Climate Change: Commentary. » *Environmental Values* 15: 415-22.
- Smith, J. B., S. H. Schneider, M. Oppenheimer, G. W. Yohe, W. Hare, M. D. Mastrandrea, A. Patwardhan, I. Burton, J. Corfee-Morlot, C. H. D. Magadza, H.-M. Fussel, A. B. Pittock, A. Rahman, A. Suarez et J.-P. van Ypersele. 2009. « Assessing Dangerous Climate Change through an Update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) « reasons for concern ». » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (11): 4133-37.
- Smyth, I. 2005. « More than Silence: The Gender Dimensions of Tsunami Fatalities and Their Consequences. » Étude présentée lors de la Conférence de l'OMS sur les aspects sanitaires de la catastrophe provoquée par le tsunami en Asie, Phuket, Thaïlande.
- Solomon, S., G.-K. Plattner, R. Knutti et P. Friedlingstein. 2009. « Irreversible Climate Change due to Carbon Dioxide Emissions. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (6): 1704-09.

- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- . 2008. *Key Elements of a Global Deal on Climate Change*. Londres : London School of Economics and Political Science.
- Stern, T. et U. M. Persson. 2008. « An Even Sterner Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate. » *Review of Environmental Economics and Policy* 2 (1): 61-76.
- Tol, R. S. J. 2005. « The Marginal Damage Cost of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties. » *Energy Policy* 33: 2064-74.
- Toth, F. et M. Mwandosya. 2001. « Decision-making Frameworks. » In *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, dir. de publication B. Metz, O. Davidson, R. Swart et J. Pan. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Ummel, K. et D. Wheeler. 2008. « Desert Power: The Economics of Solar Thermal Electricity for Europe, North Africa, and the Middle East. » Working Paper 156, Center for Global Development, Washington.
- UNISDR (Stratégie internationale des Nations Unies pour la prévention des catastrophes). 2007. *Gender Perspective: Working Together for Disaster Risk Reduction. Good Practices and Lessons Learned*. Genève : UNISDR.
- Vergara, W. 2009. « Assessing the Potential Consequences of Climate Destabilization in Latin America. » Sustainable Development Working Paper 32, Banque mondiale, Région Amérique latine et Caraïbes, Washington.
- Weiss, H. 2000. « Beyond the Younger Dryas: Collapse as Adaptation to Abrupt Climate Change in Ancient West Asia and the Eastern Mediterranean. » In *Environmental Disaster and the Archaeology of Human Response*, dir. de publication G. Bawden et R. M. Reycraft. Albuquerque : Maxwell Museum of Anthropology.
- Weiss, H. et R. S. Bradley. 2001. « What Drives Societal Collapse? » *Science* 291: 609-10.
- Weitzman, M. 2007. « A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. » *Journal of Economic Literature* 45 (3): 703-24.
- . 2009a. « On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change. » *Review of Economics and Statistics* 91 (1): 1-19.
- . 2009b. « Reactions to the Nordhaus Critique. » Harvard University, Cambridge, MA.
- Wheeler, D. et K. Ummel. 2007. « Another Inconvenient Truth: A Carbon-Intensive South Faces Environmental Disaster, No Matter What the North Does. » Working Paper 134, Center for Global Development, Washington.
- WRI (Institut des ressources mondiales). 2008. « The Climate Analysis Indicators Tool (CAIT). » Washington.
- Yohe, G. W. 1999. « The Tolerable Windows Approach: Lessons and Limitations. » *Climatic Change* 41 (3-4): 283-95.

Le climat change – c'est un fait incontestable. Tous les scientifiques s'accordent à reconnaître que la température de la planète se réchauffe, du fait principalement de l'activité humaine. Dans son quatrième Rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) souligne que : « le réchauffement climatique est une réalité indiscutable »¹. Pendant le million d'années qui a précédé la Révolution industrielle, les concentrations de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère étaient comprises entre 17 et 280 parties par million (ppm). Elles sont aujourd'hui beaucoup plus importantes (387 ppm), et dépassent de loin le niveau maximum relevé pour les 800 000 dernières années. Le phénomène pourrait s'accélérer² : si rien n'est fait pour infléchir la trajectoire à forte intensité de carbone de la planète, les concentrations de CO₂ pourraient atteindre à la fin du siècle un niveau jamais égalé au cours de dizaines de millions d'années.

L'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a pour objectif ultime de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique »³. Pour empêcher toute perturbation « dangereuse », conformément aux termes de la Convention, « il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable ». Il est difficile de dire si cet objectif est pleinement réalisable, dans la mesure où le lien entre le réchauffement climatique observé à l'heure actuelle et l'augmentation des sécheresses, des inondations, des canicules, des feux de forêts et des épisodes pluviométriques extrêmes qui menacent les sociétés humaines et les systèmes naturels est désormais établi.

On dispose de preuves convaincantes qui montrent que la capacité des sociétés et des écosystèmes à s'adapter au réchauffement climatique serait mise à très rude épreuve au-delà d'un réchauffement moyen de 2 °C⁴. Si l'on parvient à maintenir le réchauffement d'origine anthropique à 2 °C au-dessus des températures de la période préindustrielle, on devrait pouvoir limiter dans des proportions significatives le recul des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental et l'élévation du niveau de

la mer qui en résulterait ; réduire le nombre d'inondations, de sécheresses, et de feux de forêt dans de nombreuses régions ainsi que l'augmentation de la mortalité et de la morbidité dues à la propagation des maladies infectieuses et diarrhéiques et à la chaleur extrême ; prévenir la disparition de plus d'un quart des espèces connues ; et éviter une baisse conséquente de la production vivrière mondiale⁵.

Toutefois, la stabilisation de la température moyenne mondiale à 2 °C au-dessus des températures préindustrielles suffira à transformer profondément la planète. La Terre s'est réchauffée de 0,8 °C en moyenne depuis l'ère préindustrielle, et les régions de latitude élevée sont déjà confrontées à des bouleversements à la fois environnementaux et culturels. Le réchauffement climatique se poursuit, et aura nécessairement d'autres conséquences à l'avenir. Une hausse des températures de 2 °C accentuera la fréquence et la violence des phénomènes météorologiques extrêmes (des canicules, notamment) –, et entraînera une intensification du stress hydrique dans de nombreuses régions et une baisse de la production vivrière en zone tropicale. Elle causera de surcroît des dommages aux écosystèmes, et en particulier la disparition de nombreux récifs coralliens, victimes du réchauffement climatique et de l'acidification des océans.

Si la communauté internationale n'agit pas rapidement pour s'écarter de trajectoires à forte intensité de carbone, la température moyenne mondiale augmentera, selon certains

modèles, de 2,5 à 7 °C par rapport à l'ère préindustrielle à l'horizon 2100⁶, selon l'ampleur et le rythme de la croissance énergétique, la nature des mesures prises pour limiter l'utilisation des sources d'énergie fossiles et les délais nécessaires à la mise au point de technologies énergétiques sans émission de carbone (voir chapitre 4). Si cette hausse des températures paraît modérée au regard des variations saisonnières, l'extrémité inférieure de cette fourchette représente malgré tout un réchauffement qui placerait Oslo à la latitude de Madrid. L'extrémité supérieure de la fourchette correspond quant à elle au réchauffement qui s'est amorcé au plus fort de la dernière période glaciaire, et qui a conduit à la fonte de la calotte glaciaire épaisse de 2 km qui recouvrait alors l'Europe du Nord et l'Amérique du Nord⁷. Au cours des prochaines décennies, la température moyenne mondiale devrait augmenter de 0,2 à 0,3 °C tous les 10 ans⁸, soit un rythme qui va mettre à l'épreuve les capacités d'adaptation des espèces et des écosystèmes (voir le Thème B sur la biodiversité et les services des écosystèmes face au changement climatique).

Définir ce qu'est une « perturbation anthropique dangereuse » relève d'une décision politique et non d'une analyse scientifique. Dix ans après l'adoption du Protocole de Kyoto, et alors que les pays développés s'apprentent à établir pour la première fois une comptabilité précise de leurs émissions de carbone, la communauté internationale va devoir définir l'action à mener au cours des décennies à venir. La voie retenue

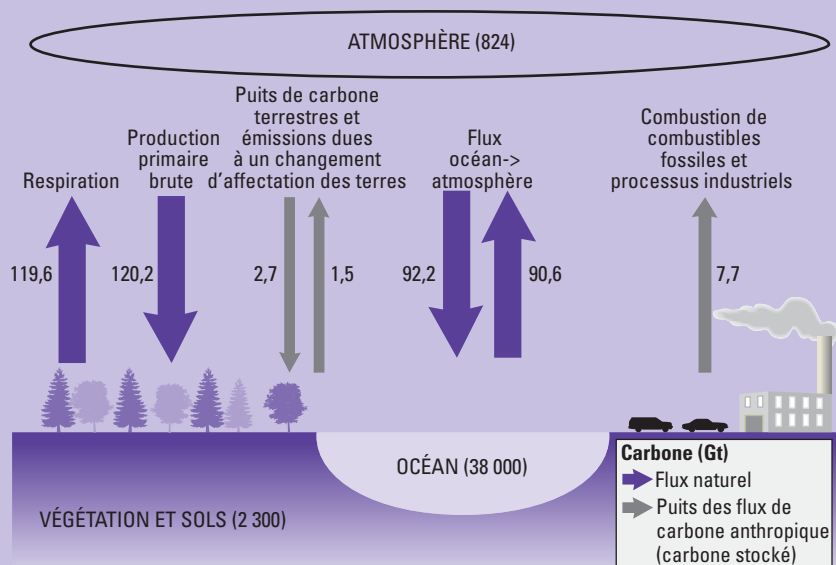
sera déterminante pour l'avenir de nos enfants : nous pouvons leur léguer une planète sur laquelle le réchauffement aura été stabilisé aux alentours de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles, ou les contraindre à vivre dans un monde de plus en plus chaud. Le terme « dangereux » renvoie à plusieurs aspects distincts : l'ampleur globale du changement clima-

tique, le rythme de ce changement, le risque d'un changement soudain ou brutal et la probabilité que des seuils de danger soient irrémédiablement dépassés. Le caractère dangereux du changement climatique est fonction à la fois des effets de ce changement sur les systèmes humains et naturels et de la capacité de ces systèmes à s'y adapter. Le Thème A examine le fonc-

tionnement du système climatique, les changements observés à ce jour, les effets prévisibles d'un réchauffement planétaire de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles et ceux d'un réchauffement de 5 °C ou plus, les risques que des « points de non-retour » irréversibles soient franchis et les défis à relever pour parvenir à limiter le réchauffement à 2 °C.

ENCADRÉ TA.1 Le cycle du carbone

La quantité de dioxyde de carbone (CO₂) rejetée dans l'atmosphère dépend de cycles biogéochimiques qui redistribuent le carbone entre les océans, la terre, les matières vivantes et l'atmosphère. L'atmosphère contient actuellement quelque 824 gigatonnes (Gt) de carbone. En 2007, les émissions de carbone d'origine anthropique représentaient près de 9 Gt de carbone, dont environ 7,7 Gt (soit 28,5 Gt de CO₂) étaient issues de la combustion de combustibles fossiles, les émissions restantes étant dues à des modifications du couvert terrestre. (Une Gt équivaut à un milliard de tonnes métriques. Pour convertir les émissions et les flux de carbone en quantité de CO₂, il suffit de multiplier la quantité de carbone par 3,67.) La concentration de CO₂ dans l'atmosphère augmente actuellement à raison d'environ deux parties par million (ppm) par an, ce qui représente un accroissement de la charge en carbone de l'atmosphère de l'ordre de 4 Gt de carbone par an (en d'autres termes, la moitié des émissions de dioxyde de carbone liées aux combustibles fossiles est responsable de l'augmentation durable de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère). Les émissions de CO₂ restantes sont absorbées par les « puits de carbone », à savoir les océans et les écosystèmes terrestres. Les océans fixent près de 2 Gt de carbone par an (ce qui correspond à la différence entre les 90,6 Gt et les 92,2 Gt indiquées dans la figure, à laquelle s'ajoute un faible flux de carbone terre-océan). Au total, la somme des quantités nettes de carbone absorbées par les océans et les écosystèmes terrestres (photosynthèse moins respiration) et du volume estimé des émissions dues à un changement d'affectation des terres et à la combustion de combustibles fossiles représente des concentrations atmosphériques



supérieures à celles qui ont été relevées. Il semble que la différence soit actuellement absorbée par les écosystèmes terrestres. On pose pour hypothèse qu'un « puits résiduel » de 2,7 Gt se serait formé du fait principalement de l'évolution du couvert terrestre (augmentation nette du couvert forestier attribuable à un reboisement/boisement supérieur au déboisement) et de la fixation accrue du carbone liée à l'effet stimulant de la hausse des concentrations de CO₂ sur la croissance des forêts du monde (appelé effet de fertilisation du CO₂). Les écosystèmes terrestres abritent des réserves de carbone de l'ordre de 2 300 Gt – soit quelque 500 Gt stockées dans la biomasse aérienne et environ trois fois plus dans les sols. La réduction du déboisement doit donc être une composante essentielle de l'action à engager pour ralentir l'augmentation des émissions. Si tout doit être mis en œuvre pour accroître le stockage du carbone dans le sol, une telle

entreprise se heurtera nécessairement à des difficultés liées aux changements climatiques et à l'augmentation de la fréquence des feux de forêts, des infestations d'organismes nuisibles, des sécheresses et du stress thermique. Dans le même temps, si rien n'est fait pour réduire les émissions de combustibles fossiles, on risque fort d'observer un ralentissement du processus de fixation des émissions par les forêts et les autres écosystèmes terrestres, voire un renversement de tendance si ces écosystèmes deviennent à leur tour des sources nettes d'émissions d'ici à la fin du siècle, comme le prévoient certains modèles. De plus, si leur température augmente, les océans absorberont le CO₂ plus lentement, et une proportion plus importante des émissions dues aux combustibles fossiles restera dans l'atmosphère.

Sources : Fischlin *et al.* 2007 ; IPCC 2000 ; GIEC 2001 ; Canadell *et al.* 2007 ; Houghton 2003 ; Prentice *et al.* 2001 ; Sabine *et al.* 2004.

Fonctionnement du système climatique

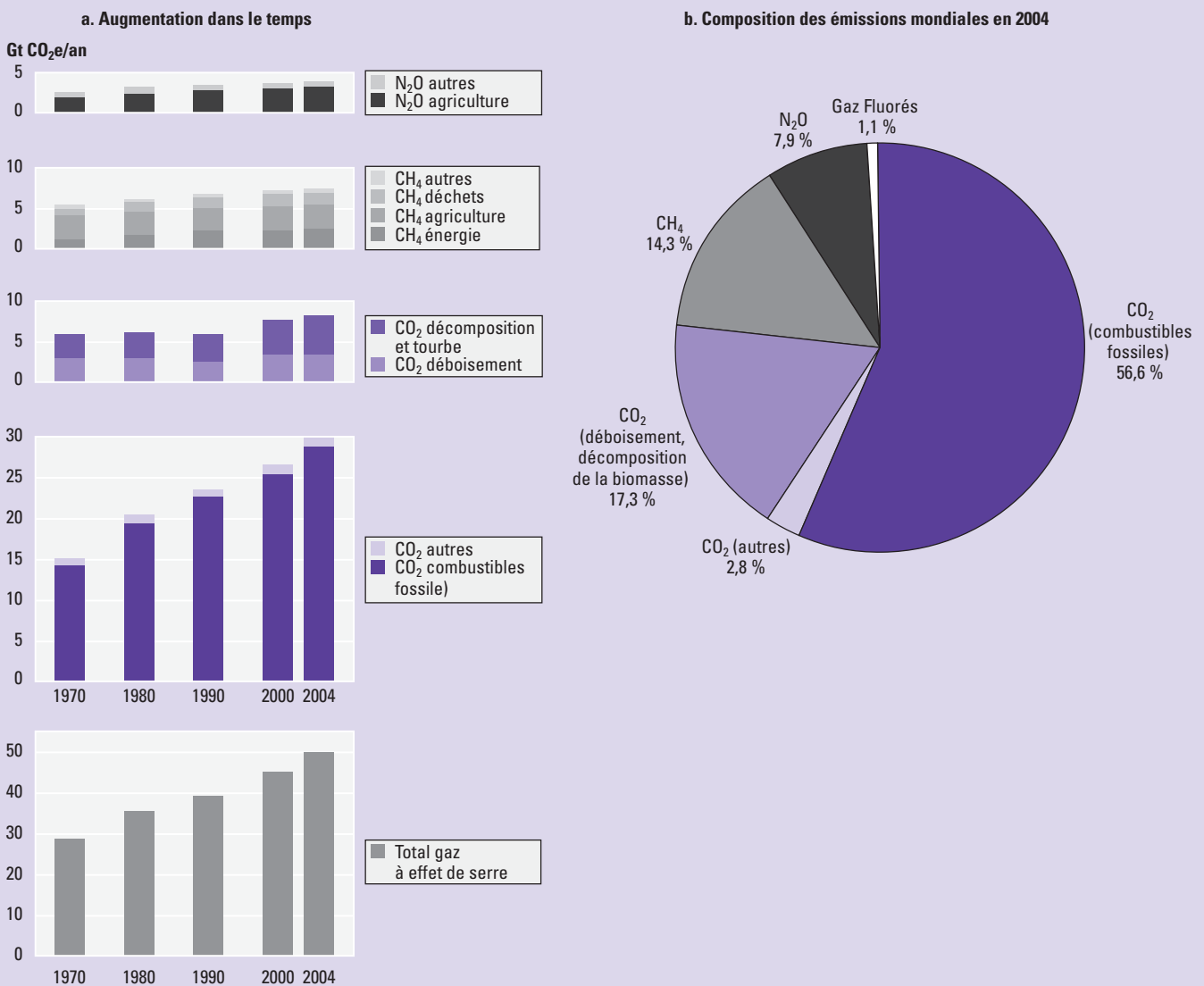
Le climat de la Terre est régi par l'énergie reçue du Soleil, l'énergie émise par la Terre et les échanges d'énergie entre l'atmosphère, la terre, les océans, les glaces et les organismes vivants. La composition de l'atmosphère revêt une importance particulière du point de vue climatique, certains gaz et aérosols (parti-

cules extrêmement petites) influant sur l'équilibre entre le rayonnement solaire et le rayonnement infrarouge émis par la Terre. La vapeur d'eau, le CO₂, le méthane (CH₄), l'ozone (O₃), et l'oxyde d'azote (N₂O) sont tous des gaz à effet de serre (GES) présents naturellement dans l'atmosphère. Ils réchauffent la surface de la Terre en empêchant l'énergie infrarouge (chaleur) émise par la Terre de s'évacuer vers l'espace. Le réchauffement

provoqué par ces gaz présents naturellement dans l'atmosphère est appelé « effet de serre naturel ». C'est grâce à cet effet de serre naturel que la température de la planète est supérieure de 33 °C à ce qu'elle serait autrement, que la majeure partie de la surface de la planète peut demeurer à l'état liquide, et que la vie existe depuis l'équateur jusqu'aux zones polaires.

Les émissions de gaz d'origine anthropique ont considérablement

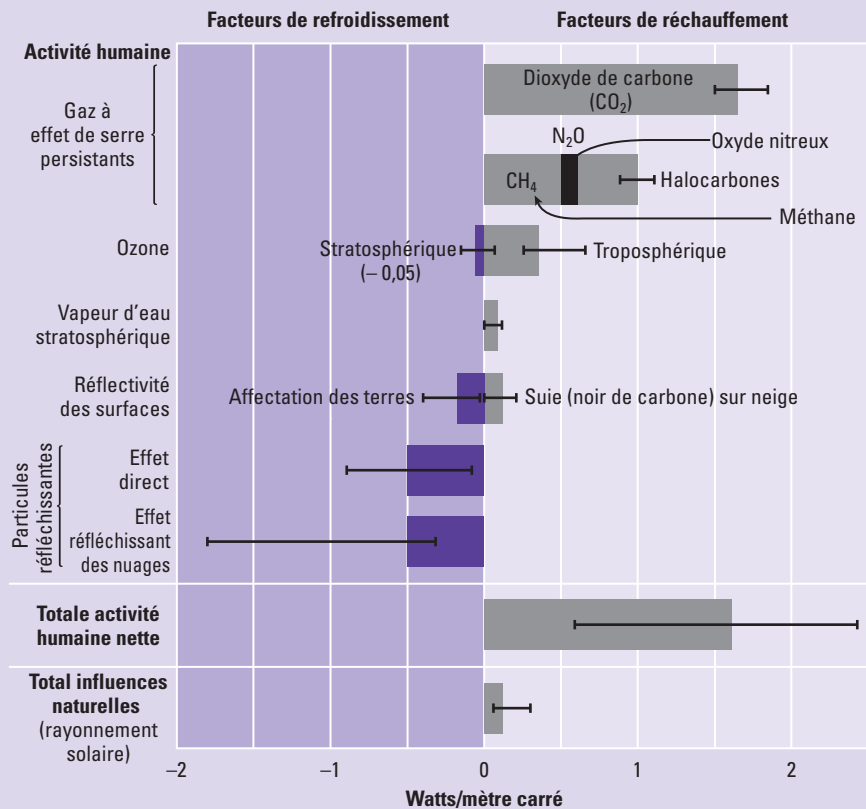
Figure TA.1 Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté



Source : Repris de Barker *et al.*, 2007.

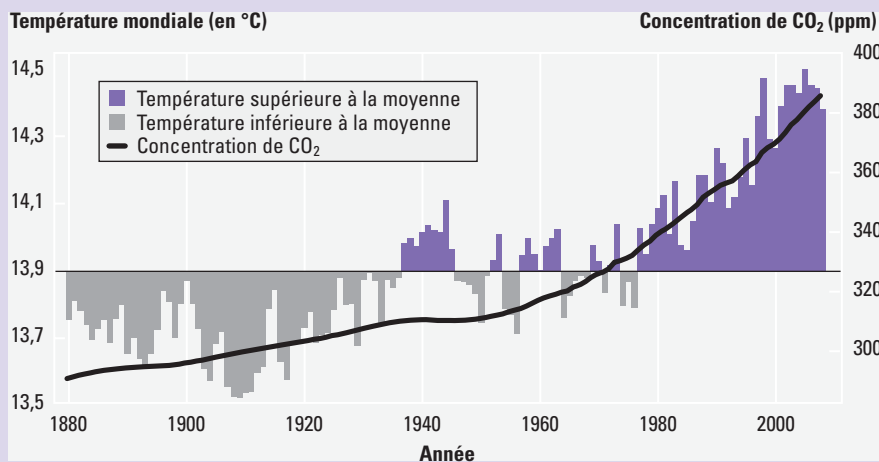
Note : Cette figure indique les sources et les taux de croissance des émissions de certains gaz à effet de serre à durée de vie moyenne ou élevée. Les combustibles fossiles et le changement d'affectation des terres sont les principales sources de CO₂, tandis que la production d'énergie et l'agriculture contribuent à parts égales aux émissions de CH₄. Les émissions de N₂O sont dues pour l'essentiel aux activités agricoles. Les autres gaz à effet de serre dont il n'est pas fait mention dans la figure sont le noir de carbone (suie), l'ozone troposphérique et les halocarbones. Les comparaisons entre les émissions équivalentes des différents gaz considérés se fondent sur le potentiel de réchauffement de la planète sur 100 ans (voir les explications données à la note 9).

Figure TA.2 Principaux facteurs influant sur le climat depuis la révolution industrielle



Source : Adapté de Karl, Melillo et Peterson 2009.

Note : La figure ci-dessus indique l'effet de réchauffement (barres grises) ou de refroidissement (barres violettes) que divers facteurs exercent sur le climat terrestre depuis le début de l'ère industrielle (soit de 1750 à nos jours). Les résultats sont exprimés en watts par mètre carré. La première partie de la figure présente les principaux facteurs anthropiques, et la deuxième les effets du rayonnement solaire, seul facteur naturel ayant un impact durable sur le climat. Le refroidissement climatique induit par les éruptions volcaniques, bien que naturel, est relativement éphémère (deux à trois ans) et n'a donc pas été pris en compte. On peut voir, dans la partie inférieure de la figure, que l'effet net total (à savoir l'effet de réchauffement minoré de l'effet de refroidissement) des facteurs anthropiques influe fortement sur le réchauffement du climat. Les barres horizontales donnent une estimation du degré d'incertitude.

Figure TA.3 La température moyenne mondiale annuelle et la concentration de CO₂ n'ont cessé d'augmenter au cours de la période 1880–2007

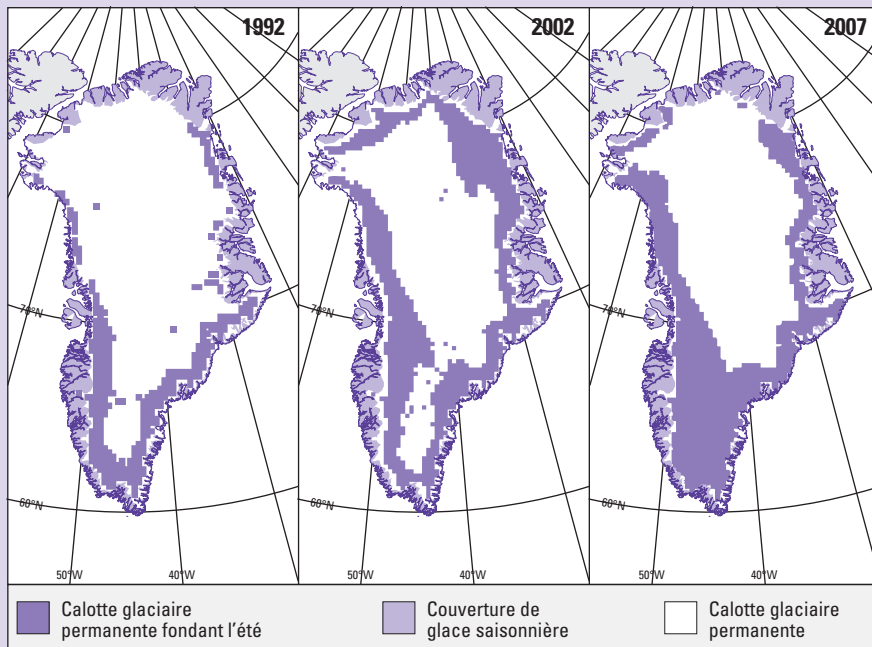
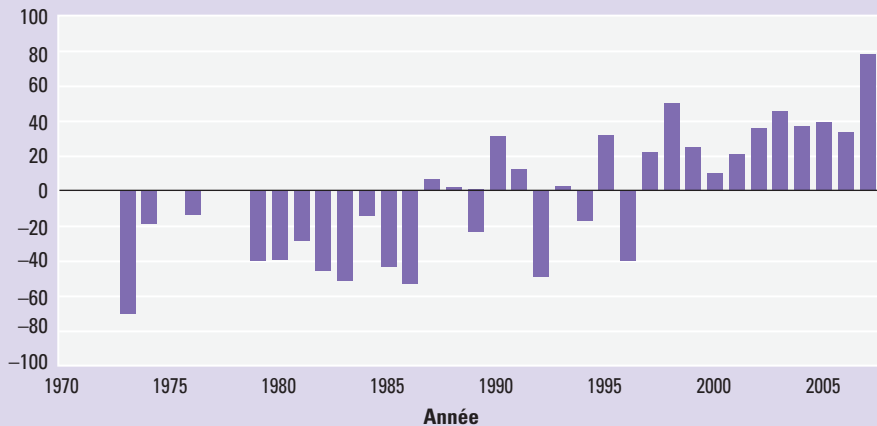
Source : Adapté de Karl, Melillo et Peterson, 2009.

Note : Les barres violettes indiquent les températures supérieures à la moyenne relevée au cours de la période 1901–2000, et les barres grises les températures inférieures à cette moyenne. La courbe noire indique l'augmentation de la concentration de CO₂. Si une nette tendance au réchauffement à long terme du climat se dégage de ce graphique, la température n'augmente pas systématiquement d'une année sur l'autre, et les changements sont plus marqués certaines années que d'autres. Ces fluctuations de température d'une année sur l'autre sont dues à des processus naturels, et notamment aux effets des épisodes El Niño et La Niña et des éruptions volcaniques.

amplifié l'effet de serre naturel. La concentration moyenne mondiale de CO₂ atmosphérique a fortement augmenté depuis le début de l'ère industrielle, en particulier ces 50 dernières années. Au cours du XX^e siècle, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est passée de 280 ppm à 387 ppm – soit une augmentation de près de 40 % – principalement en raison de la combustion de combustibles fossiles émettant du carbone et, dans une moindre mesure du déboisement et du changement d'affectation des terres (voir encadré TA.1). La combustion de charbon, de pétrole et de gaz naturel est aujourd'hui à l'origine de près de 80 % des émissions annuelles de CO₂, le déboisement et le changement d'affectation des terres des 20 % restants. En 1950, les combustibles fossiles et l'utilisation des terres contribuaient à parts égales aux émissions annuelles de CO₂ ; depuis, la consommation énergétique de la planète a été multipliée par 18. De même, les concentrations d'autres gaz piégeant la chaleur, et notamment de méthane et d'oxyde d'azote, ont fortement augmenté en raison de la combustion de combustibles fossiles, des activités agricoles et industrielles et du changement d'affectation des terres (figure TA.1)⁹.

Certains polluants d'origine anthropique émis dans l'atmosphère réchauffent la Terre, et d'autres la refroidissent (figure TA.2). Certains ont une durée de vie prolongée, d'autres ont une durée de vie très courte. En piégeant le rayonnement infrarouge, le dioxyde de carbone, l'oxyde nitreux et les halocarbones¹⁰ réchauffent la planète. Les concentrations accrues de ces gaz peuvent persister dans l'atmosphère pendant des siècles, et leur influence sur le processus de réchauffement entraîne en conséquence des variations climatiques à long terme. À l'inverse, l'effet sur le réchauffement des émissions de méthane ne se manifeste que pendant quelques décennies, tandis que l'impact sur le climat des aérosols – qui peuvent aussi bien contribuer à la rétention de chaleur,

Figure TA.4 Fonte de la calotte glaciaire du Groenland

Indice saisonnier de variabilité de la fonte des glaces par rapport à la moyenne (indice SMD) (x 1 000 km²)

Sources : Carte adaptée de ACIA 2005 et de Cooperative Institute for Environmental Sciences (CIRES), <http://cires.colorado.edu/steffen/greenland/melt2005/> (consulté en juillet 2009). Graphique du bas : Mote 2007.

Note : Sur les cartes du Groenland, les zones en mauve mettent en évidence l'étendue de la fonte des glaces en été, qui a considérablement augmenté ces dernières années. En 2007, la région a perdu 10 % de glace de plus qu'en 2005. Le graphique à barres montre que, nonobstant les variations observées d'une année sur l'autre, la couverture de glace est en très net recul depuis plus de dix ans.

comme c'est le cas du noir de carbone (suie) qu'à la diminution de chaleur (aérosols sulfatés réfléchissants¹¹) – ne dure pas plus de quelques jours à quelques semaines¹². En conséquence, une baisse sensible, au cours des prochaines décennies, des émissions de CO₂ imputables à la combustion du charbon contribuerait à réduire le réchauffement à long terme, mais s'accompagnerait d'une réduction de

l'effet de refroidissement des émissions d'aérosols sulfatés issues pour l'essentiel de la combustion du charbon, ce qui conduirait à une augmentation des températures de l'ordre de 0,5 °C.

Les températures actuelles sont d'ores et déjà supérieures de 0,8 °C à celles de l'ère préindustrielle (figure TA.3). Si les particules réfléchissantes aux propriétés refroidissantes (comme les aérosols sulfatés)

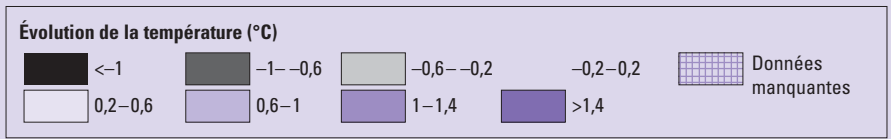
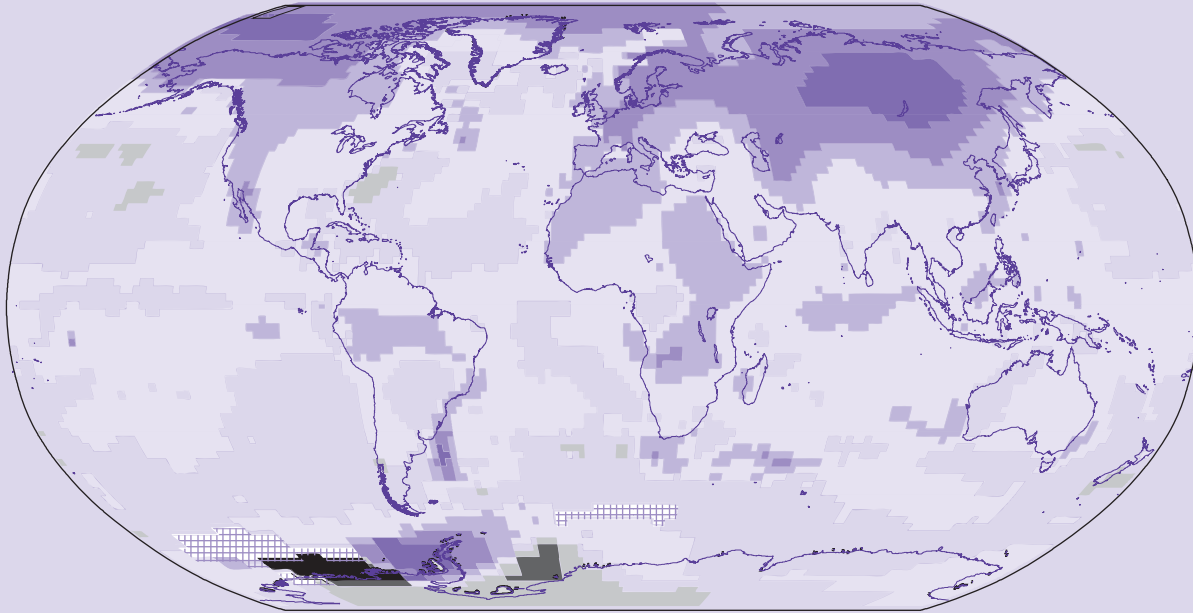
n'existaient pas, et s'il ne fallait pas plusieurs décennies pour que températures des océans augmentent sous l'effet du piégeage accru du rayonnement infrarouge, il est probable que l'activité humaine aurait déjà entraîné une augmentation d'1 °C de la température moyenne mondiale. À elles seules, les concentrations accrues de gaz à effet de serre relevées à l'heure actuelle suffiraient pratiquement à condamner la planète à un réchauffement de 2 °C, ce qui pourrait déclencher des perturbations majeures aux conséquences potentiellement « dangereuses »¹³.

Variations climatiques observées à ce jour et incidences de l'évolution des connaissances sur les bases scientifiques du changement climatique

Les effets des variations climatiques survenues depuis le milieu du XIX^e siècle se traduisent déjà par une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère et des océans, la fonte massive des neiges et des glaces partout dans le monde, en particulier dans l'Arctique et au Groenland (figure TA.4), et l'élévation du niveau de la mer. Les journées et les nuits froides sont de plus en plus rares, tout comme les gelées, la fréquence et l'intensité des canicules ont augmenté, tandis que les inondations et les sécheresses se font de plus en plus fréquentes¹⁴. En dépit de l'augmentation globale des précipitations totales, l'intérieur des continents tend à s'assécher. À l'échelle mondiale, les précipitations ont augmenté, le réchauffement ayant entraîné une accélération du cycle de l'eau de la planète, alors qu'au Sahel et dans les régions méditerranéennes, la fréquence et la gravité des sécheresses s'accroissent. Les fortes pluies et les inondations sont des phénomènes de plus en plus courants, et les données disponibles montrent que l'intensité des tempêtes et des cyclones tropicaux s'est accrue¹⁵.

Carte TA.1 Variations régionales de l'évolution du climat mondial au cours des 30 dernières années

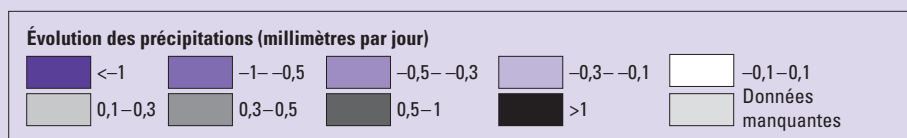
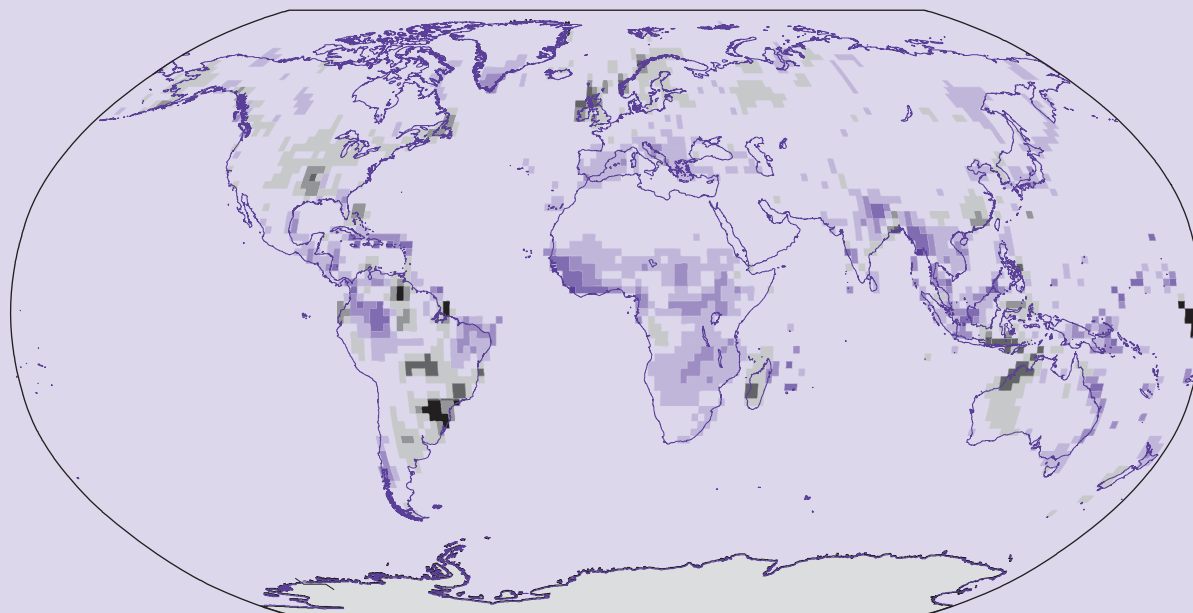
a. Température



Source : Goddard Institute for Space Studies, http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/do_nmap.py?year_last=2009&month_last=07&sat=4&sst=1&type=anoms&mean_gen=07&year1=1990&year2=2008&base1=1951&base2=1980&radius=1200&pol=reg (consulté en juillet 2009).

Note : Les zones en rose, mauve et violet indiquent les augmentations moyennes des températures (°C) relevées de 1980 à nos jours par rapport aux trois décennies précédentes. C'est dans les régions de latitude élevée, et en particulier dans l'hémisphère nord, que le réchauffement climatique a été le plus prononcé.

b. Précipitations



Source : Goddard Institute for Space Studies, http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/precipcru/do_PRCmap.py?type=1&mean_gen=0112&year1=1980&year2=2000&base1=1951&base2=1980 (consulté en mai 2009).

Note : Les zones en mauve correspondent aux régions dans lesquelles les précipitations en millimètres par jour ont diminué, et les zones en gris celles dans lesquelles elles ont augmenté depuis 1980 par rapport aux trois décennies précédentes. L'assèchement a été particulièrement marqué dans les régions continentales intérieures, alors que les précipitations se sont intensifiées dans nombre de régions côtières. L'évolution de la répartition géographique des précipitations a de graves répercussions sur l'agriculture.

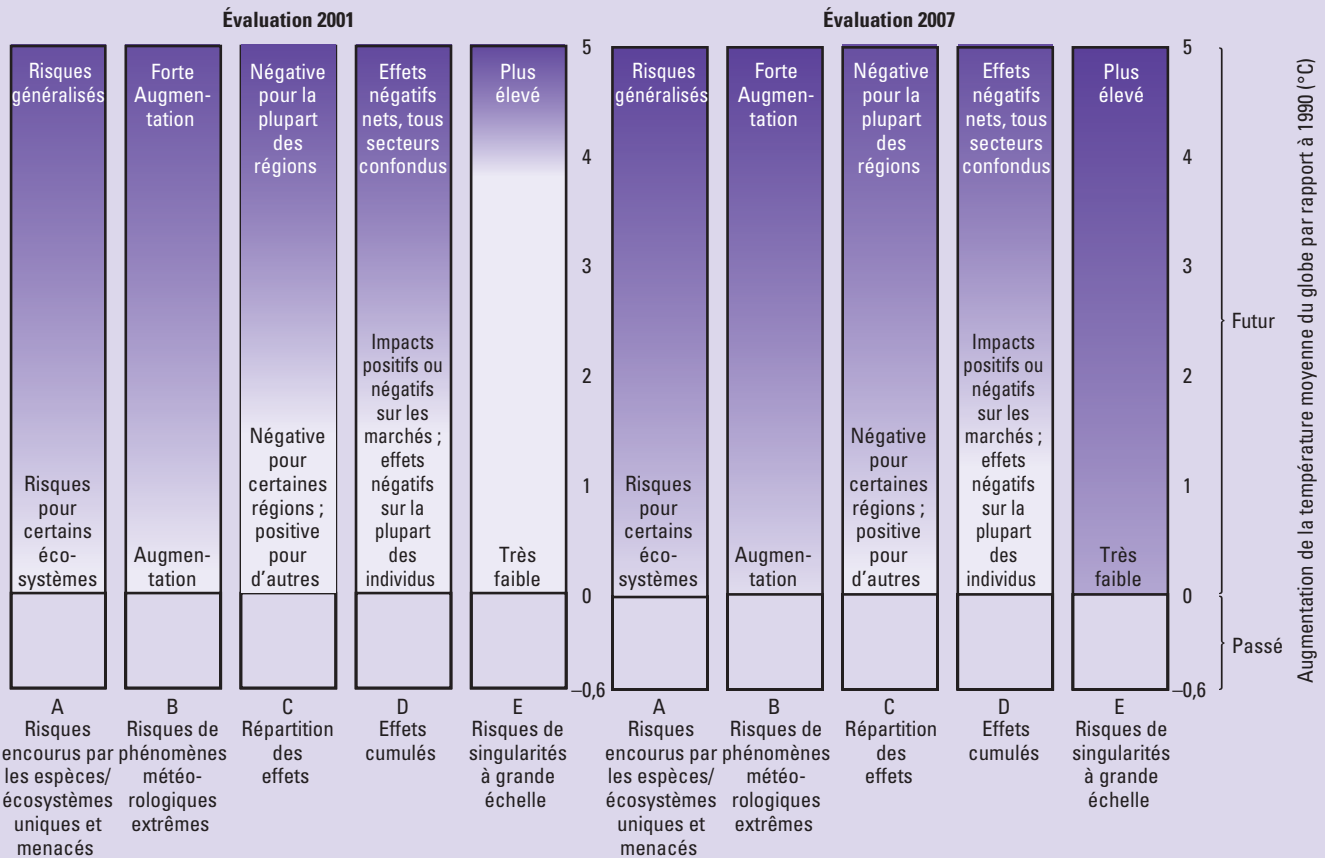
Ces impacts ne se répartissent pas de manière équilibrée sur l'ensemble de la planète (carte TA.1). Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, l'élévation des températures est plus marquée aux pôles, et certaines régions de l'Arctique ont enregistré un réchauffement de 0,5 °C au cours des trois dernières décennies¹⁶. Dans les régions de basse latitude, situées près de l'équateur, une proportion plus importante de l'énergie infrarouge piégée est absorbée au cours du processus d'évaporation, ce qui limite le réchauffement mais entraîne une augmentation de la vapeur d'eau due à l'intensité accrue des pluies provoquées par les tempêtes et les cyclones tropicaux convectifs.

Il est probable qu'au cours des décennies à venir, les effets conjugués du changement climatique et des autres contraintes environnementales comme la dégradation des habitats, les espèces envahissantes, la pollution atmosphérique et la pollution de l'eau excéderont les capacités de résistance de nombre d'écosystèmes. Les écosystèmes devraient subir des changements importants dus notamment à l'impact du changement climatique sur la répartition géographique des espèces végétales et animales. La productivité agricole, forestière et halieutique sera touchée, au même titre que d'autres services écologiques¹⁷. Les 20 000 séries de

données dont on dispose déjà mettent en évidence le déplacement progressif d'un grand nombre d'espèces, à raison de 6 km tous les dix ans en moyenne dans la direction des pôles ou de six mètres par décennie vers des zones de montagne plus élevées. Ce phénomène résulte apparemment de la hausse des températures¹⁸. Dans nombre de cas, ces changements rapides perturbent des relations prédateurs-proies ancestrales, certaines espèces arrivant trop tôt ou trop tard dans les zones où elles trouvent traditionnellement leurs principales sources de nourriture.

Ces 20 dernières années, notre compréhension des bases scientifiques du changement climatique s'est consi-

Figure TA.5 Des braises ardentes toujours plus chaudes : En 2007, l'évaluation des risques et des dommages liés au réchauffement climatique a été révisée à la hausse par rapport à 2001



Source : Repris de Smith *et al.* 2009.

Notes : La figure compare les risques liés au changement climatique tels qu'ils étaient perçus en 2001 (graphique de gauche) et ceux estimés sur la base de données actualisées (graphique de droite). Les conséquences du changement climatique sont présentées sous la forme de barres, et l'augmentation de la température moyenne mondiale (de 0 à 5 °C) s'entend par rapport aux niveaux actuels. Chaque colonne correspond à un type d'impact précis. Par exemple, dans les « écosystèmes uniques et menacés » comme les prairies alpines et les écosystèmes arctiques, qui sont les plus vulnérables (comme l'indique le dégradé de couleurs dans la colonne A), une augmentation minime des températures suffirait à provoquer des pertes considérables. Le code couleur correspond à l'accroissement progressif du niveau de risque, qui peut aller du gris au violet. Entre 1900 et 2000, la température moyenne mondiale a augmenté de 0,6 °C environ (et de près de 0,2 °C ces dix dernières années), et les premiers impacts s'en font déjà sentir. Depuis 2001, l'évaluation des risques de dommages a été révisée à la hausse, y compris pour un réchauffement d'1 °C au-dessus des températures actuelles, soit environ 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle.

dérablement améliorée. Ainsi, en 1995, le GIEC avançait dans son rapport que : « Il y a un faisceau d'éléments suggérant une influence perceptible de l'homme sur le climat global »¹⁹. En 2001, il soulignait l'existence de « preuves nouvelles et encore plus solides que l'essentiel du réchauffement observé ces 50 dernières années est imputable à l'activité humaine »²⁰. Six ans plus tard, en 2007, le GIEC concluait que : « le réchauffement du système climatique est sans équivoque. L'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du xx^e siècle est très probablement attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques »²¹.

En 2001 et en 2007, la communauté scientifique, à la lumière des connaissances les plus pointues sur les impacts du changement climatique, a défini cinq principaux « motifs de préoccupation » correspondant aux risques associés à différents niveaux de réchauffement de la planète : les risques encourus par les espèces/écosystèmes uniques et menacés ; les risques de phénomènes météorologiques extrêmes ; la répartition des effets ; les effets cumulés ; et les risques de singularités à grande échelle. Dans le graphique « *burning embers* » (braises ardentes), l'intensité de mauve renvoie au degré d'inquiétude que suscite l'effet du changement climatique considéré (figure TA.5). Si l'on compare la colonne B de l'évaluation de 2001 à celle de 2007, on constate que les informations recueillies entre 2001 et 2007 ont conduit à rapprocher la zone en violet foncé de la ligne du degré zéro, ce qui veut dire que, au niveau actuel de la température moyenne mondiale, les phénomènes météorologiques extrêmes sont déjà en augmentation. De même, la comparaison des deux colonnes E montre que les risques de singularités à grande échelle (modification du système de répartition de la chaleur du « tapis roulant océanique », fonte catastrophique de l'Arctique conduisant à la libération de quanti-

tés massives de méthane, par exemple) seront beaucoup plus importants si la température augmente encore de 2 °C par rapport aux niveaux actuels.

Depuis la parution du quatrième Rapport d'évaluation du GIEC, en 2007, de nouvelles informations sont venues enrichir notre compréhension des bases scientifiques du changement climatique. Il s'agit notamment d'observations actualisées des variations climatiques récentes, de données permettant d'attribuer de manière plus précise les variations climatiques constatées à des causes humaines ou naturelles, de connaissances plus solides sur les rétroactions climat-carbone et de nouvelles projections sur l'évolution future des risques de phénomènes météorologiques extrêmes et de changements catastrophiques²². On estime aujourd'hui que nombre des risques liés au changement climatique sont en fait bien plus grands qu'on le pensait, en particulier le risque d'une forte élévation du niveau de la mer au cours de ce siècle et d'une augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes.

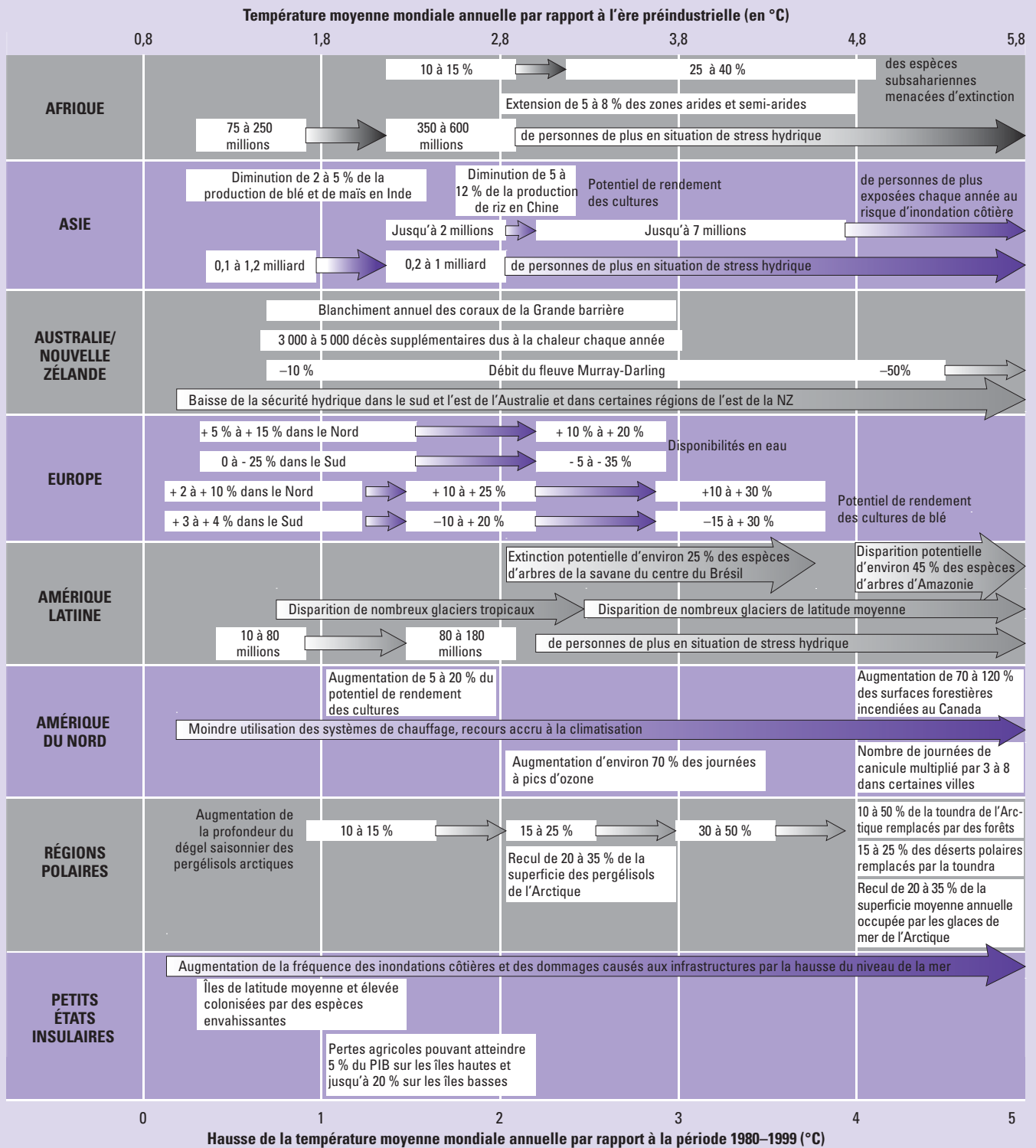
Changements à prévoir dans l'hypothèse d'un réchauffement supérieur à 2 °C

L'évolution du climat aura des répercussions très concrètes sur les populations humaines et l'environnement : elle entraînera notamment une intensification des pressions qui s'exercent sur les écosystèmes, voire l'effondrement de ces derniers ; un appauvrissement de la diversité biologique ; un bouleversement du cycle de croissance des végétaux ; l'érosion des zones côtières et la salinisation des eaux souterraines ; la fonte des pergélisols ; l'acidification des océans²³ et le déplacement des zones de répartition des organismes nuisibles et des maladies. La figure TA.6 décrit les impacts prévisibles du réchauffement climatique en fonction des hausses de température et des régions du monde considérées.

Les impacts physiques de l'évolution du climat sur les populations humaines et l'environnement varieront selon l'ampleur de du réchauffement et les régions (voir figure TA.6). Une augmentation des températures de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle entraînerait une diminution des disponibilités en eau qui toucherait entre 400 millions et 1,7 milliard de personnes dans les régions de latitude moyenne et les régions semi-arides de latitude élevée. C'est surtout en Afrique et en Asie que les pénuries d'eau seront les plus graves. À de telles températures, la plupart des récifs coralliens pourraient disparaître (encadré TA.2), et certaines cultures, notamment céréalières, ne pourraient plus pousser dans les régions de basse latitude au climat perturbé. Un réchauffement de 2 °C entraînerait aussi une augmentation du risque d'extinction qui pèse sur près d'un quart des espèces animales et végétales de la planète (voir Thème B)²⁴. Les communautés humaines subiraient un stress thermique accru, et les zones côtières seraient plus fréquemment inondées²⁵.

Qu'advient-il si le réchauffement est de 5 °C au-dessus des températures préindustrielles ? Le stress hydrique touchera quelque 3 milliards d'individus de plus, la plupart des récifs coralliens disparaîtront, la moitié environ des espèces seront rayées de la surface de la Terre, la productivité agricole chutera dans les zones tempérées comme en milieu tropical, 30 % des zones humides côtières seront inondées, le monde entier sera sous la menace d'une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres et l'augmentation des cas de malnutrition et de maladies diarrhéiques et cardio-respiratoires mettra les systèmes de santé à rude épreuve²⁶. Les écosystèmes terrestres, qui font office de « puits » de stockage du carbone, deviendront à leur tour des sources de carbone. Ce carbone, qu'il soit émis sous forme de dioxyde de carbone ou de méthane, ne fera qu'accroître le réchauffement climatique²⁷. Nombre de petits États

Figure TA.6 Impacts prévus du changement climatique, par région



Source : Adapté de Parry et al. 2007.

ENCADRÉ TA.2 Santé des océans : Récifs coralliens et acidification des océans

Au cours des décennies et des siècles à venir, la concentration accrue de CO₂ dans l'atmosphère aura pour conséquence directe une acidification des océans. En 200 ans, l'eau de mer de surface a absorbé près d'un tiers des émissions de CO₂ d'origine anthropique, et a perdu en conséquence 0,1 unité de pH (le pH, qui sert à mesurer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'un milieu, est mesuré sur une échelle logarithmique : une diminution du pH de 0,1 correspond à une augmentation de l'acidité des océans de 30 %). Ces cent prochaines années, le pH des eaux de surface des océans devrait diminuer, selon les projections, de 0,3 à 0,5 unités, ce qui rendrait les océans plus acides qu'ils ne l'ont jamais été au cours de dizaines de millions d'années^a. Cette acidification des océans aura notamment des conséquences sur les nombreux organismes marins photosynthétiques comme les coraux, les bivalves et les espèces de planctons qui fabriquent le carbonate de calcium dont est constitué leur squelette ou leur coquille. L'acidification de l'eau inhibera ce processus de « calcification ». Les planctons, qui constituent une des formes de vie les plus abondantes de la planète et sont à la base du réseau trophique marin, puisqu'ils sont une des principales sources de nourriture des poissons et des mammifères marins, seront particulièrement touchés. Les données

disponibles mettent en évidence les grandes incertitudes qui entourent encore la capacité des espèces et des écosystèmes marins à s'acclimater ou à évoluer face à cette modification brutale de la chimie des océans. Pour l'heure, les recherches sur les impacts de fortes concentrations de CO₂ dans les océans n'en sont encore qu'à leur début.

En revanche, les effets néfastes de l'acidification des océans sur les récifs coralliens sont déjà patents. Les récifs coralliens comptent parmi les écosystèmes marins les plus vulnérables aux variations du climat et de la composition de l'atmosphère, et sont aujourd'hui menacés par les impacts directs de l'activité humaine et par le changement climatique mondial. Leur disparition aurait des répercussions directes sur des millions d'individus. Les récifs coralliens tropicaux, comme les récifs d'eau profonde, abritent une biodiversité d'importance planétaire. Ils fournissent à 500 millions de personnes des biens et des services évalués à 375 milliards de dollars par an. Près de 30 millions des individus les plus pauvres du monde dépendent directement des écosystèmes coralliens pour subvenir à leurs besoins alimentaires.

La hausse récente des températures a durement éprouvé les récifs coralliens, qui ont pratiquement atteint les limites de leur capacité de résistance aux chocs thermiques. L'élévation des températures

à la surface des océans est une source d'agression pour les coraux, dont elle provoque le blanchiment (la disparition ou la mort des algues symbiotes), phénomène qui entraîne fréquemment une forte mortalité des coraux. Un « point de non-retour » écologique risque fort d'être atteint dans de nombreuses régions si les températures des océans augmentent de plus de 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle, d'autant que l'acidification des océans réduit les concentrations en carbonate et inhibe l'accrétion récifale. Une fois les coraux morts, des macroalgues colonisent les récifs et empêchent la repousse du corail. Une mauvaise gestion des pêches peut aussi amplifier ces dynamiques, dans la mesure où la surpêche des poissons de récifs herbivores conduit à une prolifération des macroalgues, tandis que la sédimentation et les apports par ruissellement d'éléments nutritifs du sol, directement imputables au déboisement et à l'utilisation de pratiques agricoles inadaptées, favorisent la croissance des macroalgues, ce qui ne fait qu'aggraver les dommages causés aux coraux.

Sources : Barange et Perry 2008 ; Doney 2006 ; Fabry *et al.* 2008 ; Wilkinson 2008.

a. Déclaration de Monaco
<http://ioc3.unesco.org/oanet/Symposium2008/MonacoDeclaration.pdf>
 (consulté en mai 2009).

insulaires et de plaines côtières seront submergés par les ondes de tempête et la montée des eaux provoquées par le recul des principales calottes glaciaires, lequel entraînera la disparition des modes de vie traditionnels des peuples de l'Arctique.

Des données récentes montrent que la disparition des glaces de mer, la fonte des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, l'élévation du niveau de la mer et le dégel des pergélisols et des glaciers de montagne sont en fait plus rapides que ne le prévoyait le GIEC dans son rapport de 2007²⁸. De nouvelles analyses indiquent, par ailleurs, que la probabilité de sécheresses en Afrique de l'Ouest²⁹

et d'un assèchement de la forêt tropicale amazonienne³⁰ est plus grande qu'on le pensait jusqu'à présent³¹.

Si l'on a souvent invoqué l'incertitude scientifique pour justifier d'attendre de disposer de preuves supplémentaires avant d'agir face au changement climatique, le caractère inattendu des phénomènes constatés récemment montre malgré tout que cette incertitude est valable pour tous les scénarios, et que les résultats peuvent être pires qu'on l'imaginait. Comme l'ont montré l'Abrégé et le chapitre 1, les incertitudes qui entourent encore l'évolution du climat exigent d'appliquer le principe de précaution, compte tenu des impacts

irréversibles potentiels du changement climatique et de l'inertie du système climatique, des infrastructures, des processus technologiques et des systèmes socioéconomiques.

Va-t-on franchir un seuil ?

Ces impacts ne rendent pas pleinement compte de la probabilité et des incertitudes liées à un accroissement des phénomènes météorologiques extrêmes, et ne suffisent pas à définir les seuils au-delà desquels pourraient survenir des événements catastrophiques aux conséquences irréversibles. On aurait tort de penser que le changement climatique se résume à un accroissement progressif

de la température moyenne mondiale. Cette définition est inadaptée et peut prêter à confusion, pour au moins deux raisons.

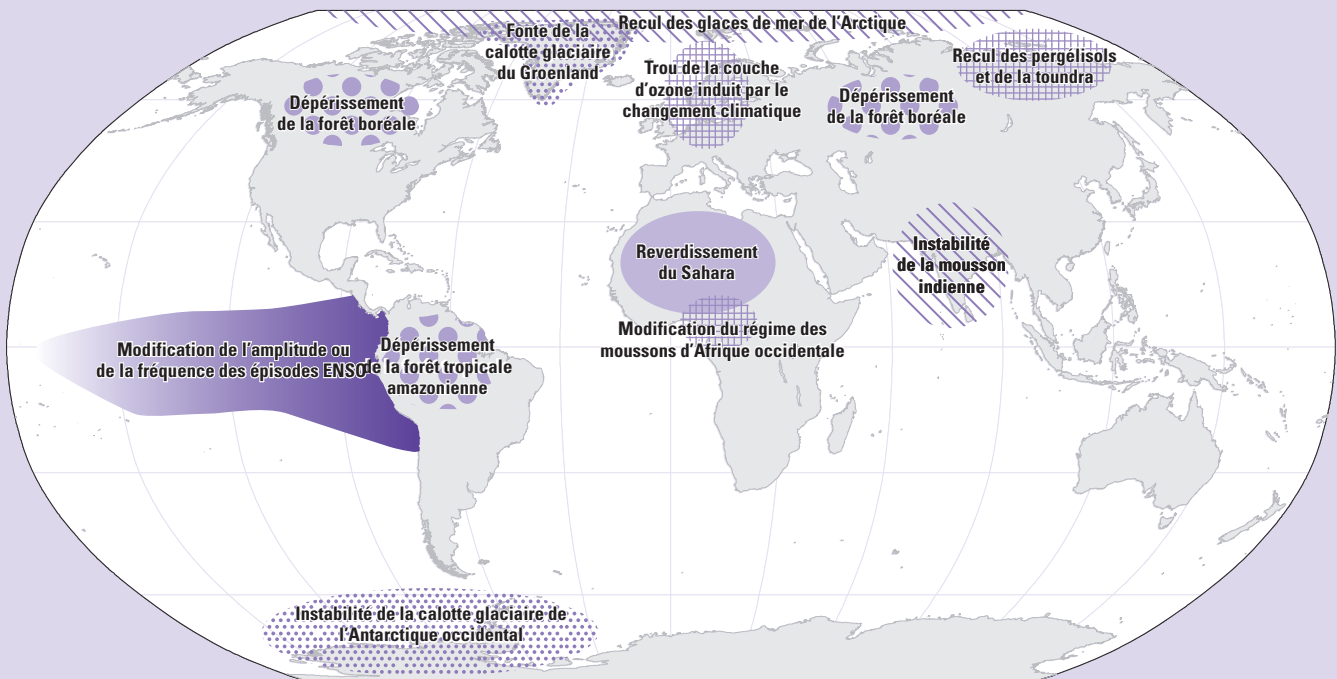
Premièrement, les données historiques et paléoclimatiques indiquent que le changement climatique prévu pourrait survenir par à-coups, et non de manière progressive. Comme on l'a déjà souligné, les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental sont particulièrement menacées par le réchauffement planétaire, et certains mécanismes pourraient apparemment conduire à des modifications rapides et importantes des quantités de glace qu'elles contiennent³². Cette découverte est particulièrement importante, dans la mesure où la disparition totale de la glace stockée à l'heure actuelle dans les calottes glaciaires de ces deux régions entraînerait à terme une hausse du niveau de la mer d'environ 12 mètres. Selon certaines analyses, ce processus s'opérerait lentement, parallèlement au

réchauffement de la planète, et pourrait prendre plusieurs milliers d'années, voire plus. Dans le même temps, d'autres études plus récentes indiquent que la fonte des glaces du Groenland et de l'Antarctique pourrait être beaucoup plus rapide et s'étaler sur à peine quelques siècles, dans la mesure où ces deux calottes glaciaires sont en grande partie en deçà du niveau de la mer et sont entourées d'eaux dont la température augmente.³³ L'accélération rapide de la fonte de l'une ou l'autre de ces deux calottes glaciaires, voire des deux, et les modifications de la circulation océanique qui en résulterait ne sont qu'un des scénarios susceptibles de conduire à un basculement du système climatique mondial (qui dépasserait alors le point de non-retour pour entrer dans un régime différent), et d'entraîner une augmentation du risque de graves perturbations environnementales et sociales³⁴.

Deuxièmement, la température moyenne mondiale est une abstrac-

tion. Les impacts du changement climatique varieront considérablement d'une région à l'autre, et entreront souvent en interaction avec d'autres facteurs de stress environnemental. À titre d'exemple, l'évaporation et les précipitations augmentent et continueront d'augmenter partout dans le monde mais, compte tenu de la modification des courants atmosphériques, cet accroissement se manifestera différemment selon les régions : certaines deviendront plus humides, et d'autres plus sèches. De même, l'évolution du climat entraînera vraisemblablement une modification de la trajectoire des tempêtes, une intensification des cyclones tropicaux, des épisodes pluviométriques extrêmes, une élévation de la ligne des neiges qui entraînera une diminution de la couverture neigeuse au printemps, un nouveau recul des glaciers de montagne³⁵, une réduction des surfaces enneigées et des glaces de mer, une accélération de l'évaporation de l'humidité du sol

Carte TA.2 Facteurs de basculement potentiels du système climatique : répartition mondiale



Source : Adapté de Lenton *et al.* 2008.

Note : Certaines composantes régionales du système climatique reposent sur un équilibre fragile qui peut basculer sous l'effet du changement climatique. En d'autres termes, une perturbation climatique minime survenant à un point critique pourrait déclencher un dérèglement brutal et irréversible du système climatique. De tels phénomènes pourraient se produire au cours de ce siècle, selon le rythme et l'ampleur du changement climatique.

Tableau TA.1 Facteurs de basculement potentiels du système climatique : Déclencheurs, horizon temporel et impacts

| Facteur de basculement | Seuil de déclenchement | Échelle temporelle de transition | Principaux impacts |
|--|------------------------|----------------------------------|--|
| Disparition des glaces de mer d'été de l'Arctique | + 0,5-2 °C | ~ 10 ans (rapide) | Réchauffement amplifié, modification des écosystèmes |
| Fonte de la calotte glaciaire du Groenland | + 1-2 °C | > 300 ans (lent) | Hausse de 2 à 7 mètres du niveau de la mer |
| Fonte de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental | + 3-5 °C | > 300 ans (lent) | Hausse de 5 mètres du niveau de la mer |
| Dérèglement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique | + 3-5 °C | ~ 100 ans (progressif) | Refroidissement de la région Europe |
| Persistance de l'oscillation australe El Niño (ENSO) | + 3-6 °C | ~ 100 ans (progressif) | Sécheresse en Asie du Sud-Est et ailleurs |
| Mousson indienne d'été | Sans objet | ~ 1 an (rapide) | Sécheresse |
| Mousson du Sahara/Sahel et de l'Afrique de l'Ouest | + 3-5 °C | ~ 10 ans (rapide) | Augmentation de la capacité de charge |
| Assèchement et dépérissement de la forêt amazonienne | + 3-4 °C | ~ 50 ans (progressif) | Appauvrissement de la biodiversité, baisse des précipitations |
| Déplacement vers le nord de la forêt boréale | + 3-5 °C | ~ 50 ans (progressif) | Modification des biomes |
| Réchauffement des eaux de fond de l'Antarctique | Indéterminé | ~ 100 ans (progressif) | Modification de la circulation océanique, stockage de carbone réduit |
| Dégel de la toundra | En cours | ~ 100 ans (progressif) | Amplification du réchauffement, modification des biomes |
| Dégel des pergélisols | En cours | < 100 ans (progressif) | Amplification du réchauffement lié à la libération du méthane et du dioxyde de carbone stockés dans les sols |
| Libération des hydrates de méthane des fonds océaniques | Indéterminé | De 1 000 à 100 000 ans | Amplification du réchauffement lié à la libération de méthane |

Source : Adapté de Lenton *et al.* 2008.

Note : Les experts estiment à 16 % au minimum la probabilité que l'un ou l'autre de ces « points de non-retour » – fonte de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental, fonte de la calotte glaciaire du Groenland, assèchement de l'Amazone, modification de la circulation océanique (Kriegler *et al.* 2009) – soit franchi si les températures augmentent de 2 à 4 °C. Cette probabilité pourrait même atteindre plus de 50 % si la température moyenne mondiale venait à augmenter de 4 °C par rapport aux niveaux relevés en 2000. Globalement, ces estimations sont très largement supérieures aux taux de probabilité d'événements catastrophiques avancés dans les évaluations actuelles des dommages climatiques. Ainsi, selon Stern (2007), dans l'hypothèse d'un réchauffement de 5 °C, la probabilité d'un recul de 5 à 20 % des calottes glaciaires serait de 10 %.

qui conduira à des sécheresses et des feux de forêts plus fréquents et plus intenses, un recul des pergélisols et des épisodes de pollution atmosphérique plus fréquents. Sans doute faut-il aussi s'attendre à des bouleversements du calendrier et du régime des moussons et des oscillations océan-atmosphère (comme dans le cas de l'oscillation australe El Niño et de l'oscillation nord-Atlantique). La carte TA.2 et le tableau TA.1 indiquent quelques-uns des points de basculement possibles, leur emplacement géographique, les températures susceptibles de déclencher des changements et l'impact probables des phénomènes considérés.

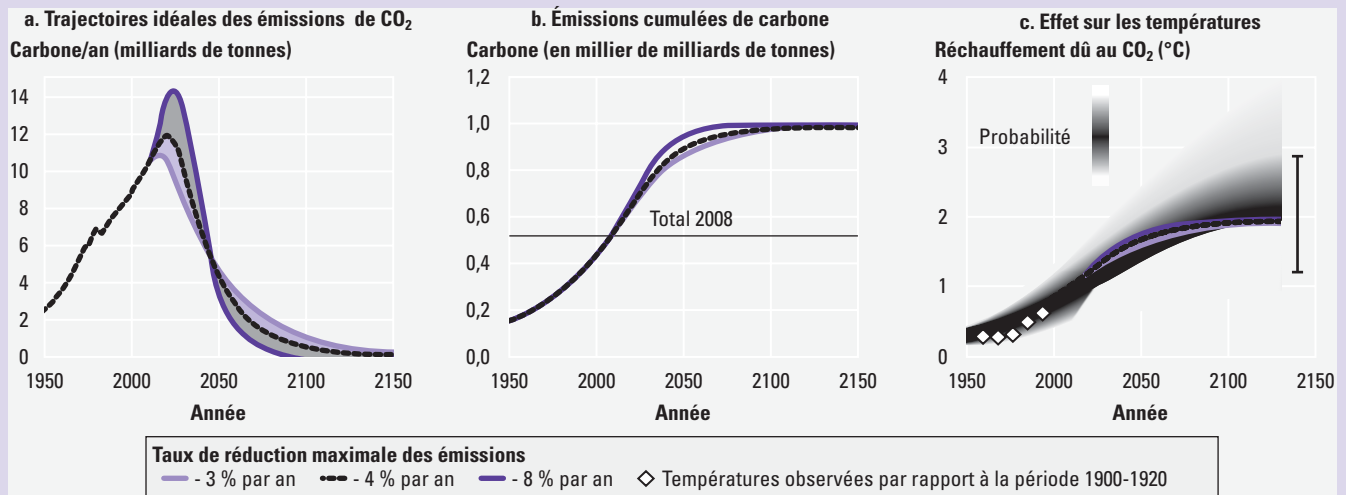
Peut-on se fixer pour objectif un réchauffement de 2 °C et éviter un réchauffement de 5 °C ou plus ?

De nombreuses études avancent que, en cas de stabilisation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à 450 ppm de CO₂ ou d'équivalent CO₂ (CO₂e), la probabilité d'une hausse de la température moyenne mondiale n'excédant pas 2 °C par rapport à l'ère préindustrielle serait de 40 à 50 % seulement³⁶. Pour atteindre cet objectif, plusieurs scénarios sont envisageables, mais tous supposent que les émissions, après avoir atteint un pic au cours de la prochaine décennie, seront ramenées, à l'horizon 2050, à la moitié des niveaux relevés aujourd'hui

et continueront de diminuer par la suite. Toutefois, si l'on veut vraiment éviter de dépasser une température donnée, il faudra réduire les émissions de manière encore plus drastique. En effet, comme le montre la figure TA.7c, l'estimation la plus plausible, à savoir celle d'un réchauffement de 2 °C, n'exclut pas le risque d'une hausse des températures de 4 °C.

L'analyse du réchauffement du point de vue du bilan total des émissions de carbone est une manière plus constructive d'appréhender le problème. Pour maintenir le réchauffement dû au seul CO₂ à 2 °C, il faudra limiter les émissions cumulées de CO₂ à mille milliards de tonnes de carbone

Figure TA.7 Limitation du réchauffement à 2 °C au-dessus des températures préindustrielles : Scénarios envisageables



Source : Allen *et al.* 2009a.

Note : Les trois trajectoires proposées (TA.7a) sont toutes compatibles avec des émissions totales cumulées (b) de mille milliards de tonnes de carbone. Toutes débouchent sur une même fourchette de projections de la hausse des températures (c), qui varie en fonction de l'incertitude relative à la réaction du système climatique (dégradé de gris et barre d'erreur en noir), dès lors que le total cumulé reste inchangé. Les courbes en violet, mauve et noir de la figure TA.7a sont toutes compatibles avec ce bilan carbone de mille milliards de tonnes, mais plus le pic des émissions est important et tardif, plus la réduction des émissions doit être rapide pour que les émissions se maintiennent dans les limites du bilan cumulé considéré. Les losanges de la figure TA.7c correspondent aux températures observées par rapport à la période 1900-1920. Si un réchauffement de 2 °C est le scénario le plus probable, la possibilité d'une hausse des températures atteignant jusqu'à 4 °C par rapport à l'ère préindustrielle ne peut être exclue.

(soit 3 700 milliards de tonnes de CO₂)³⁷. Or, les émissions relevées pour les 250 dernières années représentent déjà la moitié de cette quantité de carbone. Si rien n'est fait au cours du XXI^e siècle pour infléchir la tendance, les 500 milliards de tonnes de carbone restantes seront rejetées dans l'atmosphère en 40 ans. En d'autres termes, les générations futures seront condamnées à vivre dans un monde où les émissions de carbone devront nécessairement être nulles.

Le concept de bilan cumulé des émissions de carbone offre un cadre de réflexion plus adapté à la définition des objectifs à atteindre à court et à long terme. Ainsi, plus les émissions seront importantes en 2020, plus elles devront être faibles en 2050 si l'on veut les maintenir dans les limites du bilan global considéré. Si on laisse les émissions de carbone augmenter encore de 20 à 40 % avant de commencer à baisser, le taux annuel de réduction des émissions devra être compris entre 4 % (la courbe noire de la figure TA.7a) et 8 % (courbe violette) pour ne pas dépasser les limites du bilan carbone

global. À titre de comparaison, les pays riches réunis à Kyoto ont convenu de réduire les émissions de 5,2 % en moyenne au cours de la période 2008-2012 par rapport aux niveaux enregistrés en 1990, alors que le maintien du réchauffement aux alentours de 2 °C suppose de réduire les émissions mondiales totales de 4 à 8 % par an.

Compte tenu de la contribution des autres gaz à effet de serre comme le méthane, le noir de carbone et l'oxyde d'azote au réchauffement global, soit environ 25 %, il faudra réduire encore plus les émissions de CO₂ si l'on veut maintenir aux alentours de 2 °C le réchauffement d'origine anthropique. Les autres gaz à effet de serre pourraient représenter près de 125 milliards des 500 milliards de tonnes restantes de notre bilan d'émissions, ce qui veut dire que la planète ne pourrait plus émettre au total que 375 milliards de tonnes environ de dioxyde de carbone (mesuré en carbone)³⁸. Les dispositions qui pourraient être prises à court terme pour réduire, à l'horizon 2020, les émissions de gaz puissants mais à durée de vie limitée comme le

méthane, le noir de carbone ou l'ozone troposphérique peuvent contribuer à ralentir le réchauffement. En effet, la réduction des émissions de noir de carbone de 50 %, la réduction des émissions d'ozone de 70 %³⁹ ou l'arrêt des activités de déboisement sont autant de mesures qui permettraient d'éliminer l'équivalent d'une décennie d'émissions de combustibles fossiles et contribueraient, en complément de mesures de réduction des émissions de CO₂e, à limiter le réchauffement planétaire. Cela étant, pour réduire de manière significative le risque d'un réchauffement excessif, peut-être faudra-t-il aussi se résoudre à atteindre des niveaux d'émission négatifs, ce qui suppose l'absence totale de nouvelles émissions et l'élimination du CO₂ présent dans l'atmosphère. On pourrait éventuellement y parvenir en utilisant la biomasse pour produire de l'énergie et en fixant le carbone (voir chapitre 4).

Notes

1 GIEC 2007b. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du

climat (GIEC) a été créé en 1988 à l'initiative conjointe de l'Organisation météorologique mondiale et du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Il a pour fonction de faire le point des connaissances scientifiques relatives au changement climatique dans le cadre de rapports d'évaluation périodiques et approfondis. Le premier Rapport d'évaluation du GIEC a été établi en 1990, le deuxième en 1995, le troisième en 2001 et le quatrième en 2007.

2 Raupach *et al.* 2007.

3 http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1353.php (consulté le 30 août 2009).

4 Smith *et al.* 2009.

5 Parry *et al.* 2007.

6 La hausse des températures aux pôles devrait être à peu près deux fois supérieure à la moyenne mondiale.

7 Schneider von Deimling *et al.* 2006.

8 Les augmentations relevées sont en moyenne de 0,2 °C par décennie depuis 1990, ce qui permet d'établir des projections avec confiance. Voir le rapport 2007 du GIEC (2007a, tableau 3.1), qui définit une fourchette comprise entre 0,1 et 0,6 °C par décennie, tous scénarios confondus.

9 Selon les estimations les plus récentes de l'Organisation météorologique mondiale, la concentration moyenne de CO₂ était de 387 parties par million (ppm) en 2008. Les concentrations de méthane et d'oxyde nitreux ont également augmenté pour atteindre des niveaux inégalés, à savoir 1 789 et 321 parties par milliard (ppb) respectivement. La concentration en équivalent dioxyde de carbone (CO₂e) indique, pour un mélange et un volume donnés de gaz à effet de serre, la quantité de CO₂ qui pourrait contribuer au réchauffement climatique dans les mêmes proportions sur une période donnée. À titre d'exemple, pour un même volume de gaz, le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) sur une période de 100 ans est de 25 pour le méthane et de 298 pour l'oxyde nitreux. En d'autres termes, des émissions d'une tonne de méthane et d'oxyde d'azote auraient respectivement le même impact sur le réchauffement de la planète que des émissions de 25 et 298 tonnes de dioxyde de carbone. Fort heureusement, les émissions de ces gaz en volume ne sont pas aussi importantes que dans le cas du CO₂, et n'influencent donc pas dans les mêmes proportions sur le réchauffement climatique. On notera cependant que le PRP peut varier

en fonction de la durée considérée : par exemple, le PRP à court terme (20 ans) du méthane est de 75, ce qui signifie que, sur de courtes périodes de temps, les émissions de méthane sont très importantes et qu'en les maîtrisant, on peut ralentir le rythme du changement climatique.

10 Les composés halocarbonés sont des substances chimiques contenant des atomes de carbone liés à des atomes halogènes (fluor, chlore, brome ou iode). Nombre de ces composés généralement très persistants et non réactifs ont été utilisés comme réfrigérants ou dans la fabrication de matériaux isolants avant d'être interdits en vertu de mesures de protection de la couche d'ozone. Tous ces composés contribuent au réchauffement planétaire, et leur interdiction au titre du Protocole de Montréal et des amendements qui y ont été apportés par la suite a donc permis de limiter le réchauffement (plus encore que les mesures prévues au titre du Protocole de Kyoto). Si les composés qui leur ont été substitués ont un moindre impact sur le réchauffement de la planète et l'appauvrissement de la couche d'ozone, ils sont utilisés dans de telles quantités qu'il pourrait en fait influencer de manière significative sur le réchauffement dans le temps. Il faudra donc réduire les émissions de ces composés dans les décennies à venir.

11 L'élimination naturelle, au cours de quelques semaines qui suivent leur formation, des particules sulfatées présentes dans l'atmosphère est aussi le principal facteur d'acidification des précipitations (pluies acides). Ce phénomène entraîne une réduction de la fertilité des sols, cause des dommages aux végétaux et aux bâtiments et menace la santé des populations humaines.

12 Forster *et al.* 2007.

13 Adger *et al.* 2008 ; SEG 2007.

14 Millennium Ecosystem Assessment 2005. Cette apparente contradiction tient au fait que l'évaporation et la capacité de l'atmosphère à piéger la vapeur d'eau augmentent à mesure de la hausse de la température. Cet accroissement des quantités de vapeur d'eau dans l'atmosphère conduit à une intensification des pluies convectives, ce qui entraîne le plus souvent des inondations. Dans le même temps, l'augmentation des températures accélère l'évaporation en milieu terrestre, et par voie de conséquence l'assèchement des sols, favorisant ainsi la survenue de sécheresses. Une même région peut donc être touchée, à certaines périodes, par des inondations plus

violentes et, à d'autres, par des sécheresses plus prononcées.

15 Webster *et al.* 2005.

16 La fonte des neiges et des glaces dans les régions de latitude élevée entraîne une « amplification polaire » de la hausse des températures. En effet, les surfaces réfléchissantes, en fondant, cèdent la place à des sols noirs ou à des eaux libres qui absorbent la chaleur et créent une rétroaction positive favorisant l'intensification du réchauffement et de la fonte des glaces.

17 Allison *et al.* 2005.

18 Parry *et al.* 2007.

19 GIEC 1995.

20 GIEC 2001.

21 GIEC 2007a. Par « très probablement », le GIEC entend avec un degré de certitude supérieur à 90 %.

22 Füssel 2008 ; Ramanathan et Feng 2008.

23 Brewer et Peltzer 2009 ; McNeil et Matear 2008 ; Silverman *et al.* 2009.

24 Parry *et al.* 2007.

25 Parry *et al.* 2007, table TS3.

26 Battisti et Naylor 2009 ; Lobell et Field 2007.

27 Groupe d'experts mondial sur l'adaptation des forêts au changement climatique 2009.

28 US National Snow and Ice Data Center, <http://nsidc.org> (consulté en août 2009) ; Füssel 2008 ; Rahmstorf 2007.

29 Shanahan *et al.* 2009.

30 Phillips *et al.* 2009.

31 Allan et Soden 2008.

32 Rignot et Kanagaratnam 2006 ; Steffensen *et al.* 2008.

33 Füssel 2008.

34 Lenton *et al.* 2008.

35 PNUE – Service de surveillance mondiale des glaciers (WGMS) 2008.

36 Voir également l'Abrégé et le chapitre 4.

37 Allen *et al.* 2009b.

38 Meinshausen *et al.* 2009.

39 Wallack et Ramanathan 2009.

Bibliographie

ACIA, *Arctic Climate Impact Assessment*. New York : Cambridge University Press, 2005.

Adger, W. N., S. Dessai, M. Goulden, M. Hulme, I. Lorenzoni, D. R. Nelson, L. O. Naess, J. Wolf et A. Wreford, « Are There Social Limits to Adaptation to Climate Change? », *Climatic Change* 93 (3-4) : 335-54, 2008.

- Allan, R. P. et B. J. Soden, « Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes », *Science* 321 (5895): 1481-84, 2008.
- Allen, M., D. Frame, K. Frieler, W. Hare, C. Huntingford, C. Jones, R. Knutti, J. Lowe, M. Meinshausen et S. Raper, « The Exit Strategy », *Nature Reports Climate Change*, 3: 56-58, 2009a.
- Allen, M., D. J. Frame, C. Huntingford, C. D. Jones, J. A. Lowe, M. Meinshausen et N. Meinshausen, « Warming Caused by Cumulative Carbon Emissions towards the Trillionth Tonne », *Nature*, 458: 1163-66, 2009b.
- Allison, E. H., W. N. Adger, M. Badjeck, K. Brown, D. Conway, N. K. Dulvy, A. S. Halls, A. Perry et J. D. Reynolds, *Effects of Climate Change on the Sustainability of Capture and Enhancement Fisheries Important to the Poor: Analysis of the Vulnerability and Adaptability of Fisherfolk Living in Poverty*. Londres : UK Department for International Development (DfID), 2005.
- Barange, M. et R. I. Perry, « Physical and Ecological Impacts of Climate Change Relevant to Marine and Inland Capture Fisheries and Aquaculture ». Étude présentée à la conférence de la FAO sur le changement climatique, la pisciculture et l'aquaculture, Rome, 2008.
- Barker, T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnaes, B. Heij, S. Khan Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakićenović, H.-H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz et D. Zhou, « Technical Summary », In B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer, dir., *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007.
- Battisti, D. S. et R. L. Naylor, « Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat », *Science* 323 (5911): 240-44, 2009.
- Brewer, P. G. et E. T. Peltzer, « Oceans: Limits to Marine Life », *Science* 324 (5925): 347-48..
- Canadell, J. G., C. Le Quere, M. R. Raupach, C. B. Field, E. T. Buitenhuis, P. Ciais, T. J. Conway, N. P. Gillett, R. A. Houghton et G. Marland, « Contributions to Accelerating Atmospheric CO₂ Growth from Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (47): 18866-70, 2007.
- Doney, S. C., « The Dangers of Ocean Acidification », *Scientific American* 294 (3): 58-65, 2006.
- Fabry, V. J., B. A. Seibel, R. A. Feely et J. C. Orr, « Impacts of Ocean Acidification on Marine Fauna and Ecosystem Processes » *ICES Journal of Marine Sciences* 65 (3): 414-32, 2008.
- Fischlin, A., G. F. Midgley, J. T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M. D. A. Rounsevell, O. P. Dube, J. Tarazona et A. A. Velichko, « Ecosystems, Their Properties, Goods and Services », In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Bernsten, R. Betts, D. W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D. C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz et R. Van Dorland, « Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing », In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007.
- Füssel, H. M., « The Risks of Climate Change: A Synthesis of New Scientific Knowledge Since the Finalization of the IPCC Fourth Assessment Report ». Note de référence pour le RDM 2010, 2008.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), *Climate Change 1995: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Genève : GIEC, 1995.
- *IPCC Special Report: Methodological and Technological Issues in Technology Transfer-Summary for Policymakers*, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2000.
- , *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2001.
- , *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genève, GIEC, 2007a.
- , « Summary for Policymakers. » In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007b.
- Global Forest Expert Panel on Adaptation of Forests to Climate Change, *Adaptation of Forests and People to Climate Change: A Global Assessment Report*. Vienne : International Union of Forest Research Organizations, 2009.
- Houghton, R. A., « The Contemporary Carbon Cycle », In *Treatise on Geochemistry*, vol. 8, *Biogeochemistry*, sous la direction de W. H. Schlesinger, New York : Elsevier, 2003.
- Karl, T. R., J. M. Melillo et T. C. Peterson, *Global Climate Change Impacts in the United States*, Washington, DC : U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, 2009.
- Kriegler, E., J. W. Hall, H. Held, R. Dawson et H. J. Schellnhuber, « Imprecise Probability Assessment of Tipping Points in the Climate System », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (13): 5041-46, 2009.
- Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf et H. J. Schellnhuber, « Tipping Elements in the Earth's Climate System », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (6): 1786-93, 2008.
- Lobell, D. B. et C. B. Field. 2007. « Global Scale Climate-Crop Yield Relationships and the Impacts of Recent Warming », *Environmental Research Letters* 2: 1-7.
- McNeil, B. I. et R. J. Matear, « Southern Ocean Acidification: A Tipping Point at 450-ppm Atmospheric CO₂ », *Proceedings*

of the National Academy of Sciences 105 (48): 18860-64, 2008.

Meinshausen, M., N. Meinshausen, W. Hare, S. C. B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D. J. Frame et M. R. Allen, « Greenhouse-Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 °C », *Nature* 458 (7242): 1158-62, 2009.

Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis Report*, Washington : Institut des ressources mondiales, 2005.

Mote, T. L., « Greenland Surface Melt Trends 1973-2007: Evidence of a Large Increase in 2007 », *Geophysical Research Letters* 34 (22): L22507-[doi:10.1029/2007GL031976](https://doi.org/10.1029/2007GL031976), 2007.

Parry, M., O. F. Canziani, J. P. Palutikof et al., « Technical Summary », Publié dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2007.

Phillips, O. L., L. E. O. C. Aragao, S. L. Lewis, J. B. Fisher, J. Lloyd, G. Lopez-Gonzalez, Y. Malhi, A. Monteagudo, J. Peacock, C. A. Quesada, G. van der Heijden, S. Almeida, I. Amaral, L. Arroyo, G. Aymard, T. R. Baker, O. Banki, L. Blanc, D. Bonal, P. Brando, J. Chave, A. C. A. de Oliveira, N. D. Cardozo, C. I. Czimczik, T. R. Feldpausch, M. A. Freitas, E. Gloor, N. Higuchi, E. Jimenez, G. Lloyd, P. Meir, C. Mendoza, A. Morel, D. A. Neill, D. Nepstad, S. Patino, M. C. Penuela, A. Prieto, F. Ramirez, M. Schwarz, J. Silva, M. Silveira, A. S. Thomas, H. Steege, J. Stropp, R. Vasquez, P. Zelazowski, E. A. Davila, S. Andelman, A. Andrade, K. J. Chao, T. Erwin, A. Di Fiore, H. Euridice, H. Keeling, T. J. Killeen, W. F. Laurance, A. P. Cruz, N. C. A. Pitman, P. N. Vargas, H. Ramirez-Angulo, A. Rudas, R. Salamao, N. Silva, J. Terborgh et A. Torres-Lezama, « Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest », *Science* 323 (5919): 1344-47, 2009.

PNUE-SMSG (Programme des Nations Unies pour l'environnement – Service

mondial de suivi des glaciers), *Global Glacier Changes: Facts and Figures*. Châtelaine, Suisse, DEWA/GRID-Europe, 2008.

Prentice, I. C., G. D. Farquhar, M. J. R. Fasham, M. L. Goulden, M. Heimann, V. J. Jaramillo, H. S. Keshgi, C. Le Quere, R. J. Scholes et D. W. R. Wallace, « The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. » In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C. A. Johnson. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2001.

Rahmstorf, S., « A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-level Rise », *Science* 315: 368-70, 2007.

Ramanathan, V. et Y. Feng, « On Avoiding Dangerous Anthropogenic Interference with the Climate System: Formidable Challenges Ahead », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (38): 14245-50, 2008.

Raupach, M. R., G. Marland, P. Ciais, C. Le Quere, J. G. Canadell, G. Klepper et C. B. Field, « Global and Regional Drivers of Accelerating CO₂ Emissions », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (24): 10288-93, 2007.

Rignot, E. et P. Kanagaratnam, « Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet », *Science* 311 (5763): 986-90, 2006.

Sabine, C. L., M. Heimann, P. Artaxo, D. C. E. Bakker, C.-T. A. Chen, C. B. Field, N. Gruber, C. Le Quere, R. G. Prinn, J. E. Richey, P. Romero-Lankao, J. A. Sathaye et R. Valentini, « Current Status and Past Trends of the Carbon Cycle », In *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World*, sous la direction de C. B. Field et M. R. Raupach, Washington, Island Press, 2004.

Schneider von Deimling, T., H. Held, A. Ganopolski et S. Rahmstorf, « How Cold Was the Last Glacial Maximum? », *Geophysical Research Letters*, 33: L14709, [doi:10.1029/2006GL026484](https://doi.org/10.1029/2006GL026484), 2006.

SEG (Scientific Expert Group on Climate Change), *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing*

the Unavoidable. Washington, Sigma Xi et Fondation des Nations Unies, 2007.

Shanahan, T. M., J. T. Overpeck, K. J. Anchukaitis, J. W. Beck, J. E. Cole, D. L. Dettman, J. A. Peck, C. A. Scholz et J. W. King, « Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa », *Science*, 324 (5925): 377-80, 2009.

Silverman, J., B. Lazar, L. Cao, K. Caldiera et J. Erez, « Coral Reefs May Start Dissolving When Atmospheric CO₂ Doubles », *Geophysical Research Letters*, 36 (5): L05606-[doi:10.1029/2008GL036282](https://doi.org/10.1029/2008GL036282), 2009.

Smith, J. B., S. H. Schneider, M. Oppenheimer, G. W. Yohe, W. Hare, M. D. Mastrandrea, A. Patwardhan, I. Burton, J. Corfee-Morlot, C. H. D. Magadza, H.-M. Füssel, A. B. Pittock, A. Rahman, A. Suarez et J.-P. van Ypersele, « Assessing Dangerous Climate Change through an Update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "Reasons for concern" », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (11): 4133-37, 2009.

Steffensen, J. P., K. K. Andersen, M. Bigler, H. B. Clausen, D. Dahl-Jensen, H. Fischer, K. Goto-Azuma, M. Hansson, S. J. Johnsen, J. Jouzel, V. Masson-Delmotte, T. Popp, S. O. Rasmussen, R. Rothlisberger, U. Ruth, B. Stauffer, M. L. Siggaard-Andersen, A. E. Sveinbjornsdottir, A. Svensson et J. W. C. White, « High-Resolution Greenland Ice Core Data Show Abrupt Climate Change Happens in Few Years », *Science*, 321 (5889): 680-84, 2008.

Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2007.

Wallack, J. S. et V. Ramanathan. 2009. « The Other Climate Changers. » *Foreign Affairs* 5 (88): 105-13.

Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry et H. R. Chang, « Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment », *Science* 309 (5742): 1844-46, 2005.

Wilkinson, C., dir., *Status of Coral Reefs of the World 2008*. Townsville, Australian Institute of Marine Science, 2008. ACIA. 2005. *Arctic Climate Impact Assessment*. New York : Cambridge University Press.



PARTIE

1



Rendre l'humanité moins vulnérable en aidant les populations à s'aider elles-mêmes

Au Bangladesh, des familles décident si elles doivent reconstruire leurs habitations et reconstituer leurs moyens de subsistance après une nouvelle inondation – un phénomène jadis occasionnel qui se produit maintenant à intervalles réguliers – ou tenter leur chance à Dacca, la capitale surpeuplée. Dans les forêts géantes du sud de l'Australie, d'autres familles doivent décider si elles rebâtiront leurs maisons après les pires incendies de l'histoire d'une région qui continue de souffrir de la sécheresse la plus longue et la plus grave jamais enregistrée. Les phénomènes météorologiques extrêmes provoquant inévitablement des dégâts, les sociétés ont choisi de manière explicite ou implicite les risques qu'elles supportent et les stratégies d'adaptation qui leur permettent d'y faire face. Dans certains cas, les dégâts sont tellement élevés et le degré d'adaptation est si insuffisant que le développement en est freiné.

Au fur et à mesure que le climat change, un nombre croissant d'êtres humains sont victimes de ce qu'il est convenu d'appeler le « déficit d'adaptation ».

Les ménages et les communautés¹ ont de tout temps dû réduire leur vulnérabilité et renforcer leur résistance aux aléas climatiques par le choix de leurs moyens de subsistance, de l'affectation de leurs actifs et de leur lieu de résidence. On a constaté que les procédures de décision, la diversité et l'apprentissage social à l'échelon local sont les caractéristiques essentielles de communautés adaptables et résilientes², et que les collectivités vulnérables peuvent être des vecteurs efficaces d'innovation et d'adaptation³. Le changement climatique, toutefois, menace d'anéantir les efforts d'adaptation déployés au niveau local, exigeant davantage des structures de soutien nationales et mondiales.

La vulnérabilité des populations n'est pas une donnée figée, et les effets du changement climatique aggraveront la vulnérabilité de l'humanité à de nombreux titres. Les villes surpeuplées se développent dans des zones à risque. L'agriculture moderne bouleverse les systèmes naturels. La construction d'infrastructures (barrages, routes) crée de nouvelles opportunités, mais aussi de nouveaux risques potentiels pour les populations. Ajouté à ces facteurs, le changement climatique exerce des pressions supplémentaires sur les systèmes naturels, humains et sociaux. Les moyens de subsistance des populations seront soumis à des conditions qui changeront

Idée force

Le changement climatique se poursuivra inévitablement. Il imposera à l'humanité des contraintes physiques et économiques, en particulier dans les pays pauvres. Pour s'adapter, il faudra prendre des décisions vigoureuses – qui impliquent une planification à long terme fondée sur de nombreux scénarios climatiques et socioéconomiques. Les pays peuvent réduire les risques financiers et matériels associés à la variabilité du climat et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Ils peuvent également protéger leurs citoyens les plus vulnérables. Certaines pratiques – comme les assurances et la protection sociale – devront être développées sur une plus grande échelle, d'autres – comme la planification des villes et des infrastructures – devront être modifiées. Ces mesures d'adaptation présentent des avantages même en l'absence de changement climatique. D'autres initiatives, prometteuses, sont proposées, mais leur poursuite à l'échelle requise exigera des capitaux, des efforts, de l'ingéniosité et des informations.

certainement, mais qu'il est impossible de prévoir avec certitude.

Quelle que soit la voie choisie pour atténuer les effets du changement climatique, l'évolution des températures et les autres changements climatiques qui se produiront au cours des prochaines décennies seront très similaires. Les températures sont déjà supérieures de 1 °C aux niveaux de la période préindustrielle, et tous les scénarios d'atténuation réalistes indiquent qu'une augmentation supplémentaire de 1 °C est probable d'ici à 2050. Toutefois, le monde de la seconde moitié du siècle sera très différent du monde actuel (l'ampleur des changements dépendra des mesures d'atténuation). Envisageons deux scénarios pour les enfants et petits enfants de la génération actuelle : selon le premier, l'humanité est en voie de limiter la hausse des températures à 2-2,5 °C au dessus des températures préindustrielles ; selon le second, les émissions seront beaucoup plus élevées et les températures augmenteront d'environ 5 °C par rapport aux niveaux préindustriels⁴.

Même dans le premier cas, de nombreux écosystèmes seront soumis à des tensions croissantes, les pathologies et les organismes nuisibles continueront d'évoluer et une modification substantielle des activités agricoles et de leur localisation s'imposera. Selon le second scénario, la plupart des tendances négatives seront encore plus alarmantes et les rares évolutions positives, telles que l'accroissement de la productivité agricole dans les régions de cultures au climat relativement frais, seront inversées. Les pratiques agricoles et la localisation des cultures seront transformées. Les tempêtes gagneront en intensité et le niveau de la mer augmentera probablement d'environ un mètre⁵. Les inondations, les sécheresses et les températures extrêmes seront beaucoup plus fréquentes⁶. La décennie écoulée a été la plus chaude jamais enregistrée, mais, d'ici à 2070, même les années les plus fraîches seront probablement plus chaudes qu'aujourd'hui. Les tensions sociales augmenteront en même temps que les perturbations physiques et biologiques provoquées par le changement climatique.

Selon le scénario de l'augmentation de température la plus élevée, le réchauffement pourrait avoir de telles répercussions sur le système terrestre qu'il serait difficile de freiner la hausse des températures, quelles que soient les mesures d'atténuation mises en œuvre. Ces répercussions pourraient entraîner l'effondrement rapide des écosystèmes, une perspective évoquée par certains au sujet de l'Amazonie et des tourbières boréales (voir thème A). Les pertes et les coûts des sociétés et des économies concernées augmenteraient rapidement – ce qui exigerait des mesures d'adaptation d'une ampleur sans précédent dans l'histoire de l'humanité. L'accès aux ressources pourrait provoquer des tensions internationales, et les populations des zones les plus durement touchées intensifieraient leurs migrations⁷.

Selon le scénario de l'augmentation de température la moins élevée, l'adaptation sera difficile et coûteuse, et les activités classiques de promotion du développement ne sauraient suffire, loin s'en faut. Il est indispensable d'élargir et d'accélérer la mise en œuvre de politiques qui ont fait leurs preuves, ainsi que de prendre des mesures d'adaptation qui mettent à profit l'ingéniosité des populations, des institutions et des marchés. S'agissant du scénario des températures les plus élevées, la question est de savoir si le réchauffement approche – s'il ne les dépasse déjà – les niveaux auxquels il est possible de s'adapter⁸. Certains font valoir à juste titre que l'adaptation de l'espèce humaine est davantage freinée par des questions d'éthique, de culture, de savoir et de comportement à l'égard du risque que par des seuils physiques, biologiques ou économiques⁹. L'effort d'adaptation qui sera exigé des prochaines générations dépendra donc de l'efficacité avec laquelle nous atténuerons le changement climatique.

Les retombées progressives sur l'environnement iront de pair avec des contraintes physiques croissantes sur le développement futur. Les politiques intelligentes sur le plan climatique devront s'efforcer de résoudre les difficultés découlant d'un environnement plus risqué et plus complexe. Les pratiques en usage dans le domaine du développement doivent s'adapter davantage à des bases de référence mouvantes et s'inscrire dans des stratégies suffisamment solides pour résister à l'imperfection des connaissances¹⁰. Dans le domaine des cultures agricoles, il convient d'adopter des stratégies qui, en privilégiant la viabilité à long terme de la production plutôt que sa maximisation, seront à même de résister à l'instabilité croissante des conditions météorologiques. Dans les villes côtières, les urbanistes doivent anticiper les changements démographiques et les risques nouveaux engendrés par les inondations et la hausse du niveau des mers. Le personnel des services de santé publique doit se préparer à une évolution inattendue des pathologies liées au climat¹¹. L'information est essentielle à l'élaboration de stratégies et de mesures de planification axées sur le risque : elle forme l'assise de politiques de qualité et d'une meilleure gestion du risque.

La gestion des écosystèmes et de leurs services gagnera en importance et en difficulté. Une bonne gestion des paysages terrestres permet de maîtriser les eaux de crue. Des zones humides côtières bien protégées peuvent atténuer les effets des tempêtes. La gestion des ressources naturelles devra toutefois tenir compte de la rapide évolution du climat dans un contexte où les phénomènes climatiques extrêmes s'intensifieront et où les écosystèmes seront de plus en plus menacés par des facteurs (tels que l'utilisation des sols et les évolutions démographiques) autres que le climat¹². La gestion de ces risques physiques fait partie intégrante d'une politique de développement intelligente sur le plan clima-

tique – une mesure essentielle pour prévenir des effets évitables sur les populations.

Pour autant, les effets physiques ne peuvent pas tous être évités, notamment ceux qui sont liés aux phénomènes extrêmes et catastrophiques dont la probabilité est difficile à évaluer dans le contexte du changement climatique. Il est impossible d'éliminer le risque que représentent les phénomènes climatiques extrêmes et il serait très coûteux de chercher à le faire en raison de l'incertitude qui entoure l'endroit et le moment des impacts. Il est essentiel que les ménages et les pouvoirs publics soient financièrement prêts à faire face aux effets du changement climatique, ce qui appelle la mise en place de mécanismes souples de répartition des risques.

Comme on l'a vu au chapitre 1, ce sont les pauvres qui sont les moins en mesure de faire face aux risques physiques et financiers et les moins aptes à prendre des décisions à long terme en matière d'adaptation. Qu'ils pratiquent une agriculture de subsistance ou qu'ils vivent en squatters sans terre dans une plaine inondable à la périphérie des villes, leur existence est particulièrement influencée par le climat. D'autres groupes sociaux ont de nombreuses vulnérabilités en commun avec les populations pauvres, car ils sont dépourvus de droits et d'actifs productifs et ne parviennent pas à se faire entendre¹³. La politique sociale – complément essentiel à la gestion des risques physiques et financiers – fournit de nombreux outils pour gérer les risques auxquels sont confrontées les populations les plus vulnérables et permettre aux communautés de participer à la lutte contre le changement climatique.

Le présent chapitre examine les mesures qui aideront les populations à faire face aux variations climatiques actuelles et à celles qui se produiront au cours des prochaines décennies. Il commence par décrire un cadre d'action basé sur des stratégies capables de résister aux aléas climatiques, et sur des modes de gestion aptes à s'adapter à l'évolution de la situation. Il examine ensuite les risques physiques, financiers et sociaux.

Gestion évolutive : vivre avec le changement

Le changement climatique est une source d'incertitudes supplémentaires pour les dirigeants qui, sur le terrain, doivent prendre chaque jour des décisions dans un contexte incertain même en l'absence de changements climatiques. Face à l'imprévisibilité de la demande, les industriels investissent dans des unités de production souples qui peuvent être rentables à des degrés de production divers. Les commandants militaires demandent à bénéficier d'une supériorité numérique écrasante. Les investisseurs financiers se protègent des fluctuations du marché en diversifiant leurs placements. Toutes ces formes de couverture du risque peuvent produire des résultats sous-optimaux par rapport aux attentes, mais elles présentent l'avantage de bien résister aux incertitudes¹⁴.

L'accumulation d'incertitudes – d'ordre démographique, technologique, commercial et climatique – contraint à prendre des décisions, en matière de politiques et d'investissements, à partir d'informations imparfaites et incomplètes. Les décideurs locaux et nationaux sont confrontés à des incertitudes plus grandes encore, car les prévisions perdent généralement en précision aux échelles les plus fines – un problème inhérent au processus consistant à ramener à l'échelle inférieure des modèles grossiers et globaux. S'il n'est pas possible d'observer et de mesurer les paramètres de décision¹⁵, il convient d'utiliser, dans un contexte de probabilités inconnues, un cadre d'action reposant sur de solides stratégies (voir chapitre 1) qui tiennent directement compte des réalités d'un monde caractérisé par des paramètres mouvants et des perturbations intermittentes¹⁶.

Le fait d'accepter que l'incertitude est inhérente au problème du changement climatique et que la robustesse doit être un critère de décision implique une modification des stratégies de prise de décisions relatives aux investissements de longue durée et à la planification à long terme. Une telle attitude exige que l'on repense les démarches traditionnelles basées sur un modèle déterministe du monde selon lequel l'avenir est prévisible.

Premièrement, il faut donner la priorité aux solutions « sans regrets », à savoir les politiques et les investissements qui ont des retombées positives même en l'absence de changement climatique. Il en existe dans presque tous les domaines : la gestion des eaux et des sols (voir chapitre 3), les opérations d'assainissement permettant de réduire les maladies hydriques (contrôle des fuites d'égouts), la réduction des risques de catastrophe (éviter les zones à risque élevé), la protection sociale (aider les pauvres). Bien souvent, toutefois, ces solutions ne sont pas appliquées, à cause d'un manque d'informations et des coûts de transaction, mais aussi des défaillances intellectuelles et politiques (voir chapitre 8)¹⁷.

Deuxièmement, il est possible d'accroître la résistance aux chocs climatiques, pour un coût souvent modique, en incorporant des « marges de sécurité » dans les nouveaux investissements. Par exemple, le coût marginal de la construction d'un barrage plus élevé ou de l'inclusion de groupes supplémentaires dans un programme de protection sociale peut être faible¹⁸. Les marges de sécurité prennent en compte, d'une part, les conséquences potentielles du changement climatique (des phénomènes extrêmes plus nombreux), d'autre part l'incertitude qui entoure le développement socio-économique (variations de la demande).

En troisième lieu, il convient de privilégier les solutions réversibles et souples, en acceptant que des décisions puissent se révéler malencontreuses et en maintenant ainsi le coût de leur annulation au niveau le plus bas possible. Il est plus facile et moins coûteux d'annuler des servitudes d'utilité publique instituées en raison de risques d'inondations que de forcer les occupants à partir ou de renforcer les

mesures de protection. L'assurance est un moyen de gérer le risque et de protéger les investissements nécessaires, avec souplesse, lorsque l'orientation et l'ampleur des changements sont incertaines¹⁹. Les agriculteurs qui décident de se reporter sur des cultures qui résistent bien à la sécheresse (plutôt que d'investir dans des travaux d'irrigation) peuvent assurer leurs investissements saisonniers dans de nouvelles semences pour les protéger contre des sécheresses exceptionnellement graves. En ce qui concerne les zones menacées par les tempêtes, une combinaison de systèmes d'alerte avancée, de plans d'évacuation et d'assurances (potentiellement coûteuses) sur les biens offre des moyens plus divers de sauver des vies et de remplacer des habitations qu'en protégeant des zones côtières entières par des infrastructures ou en les dépeuplant inutilement²⁰.

Quatrièmement, l'institutionnalisation de la planification à long terme nécessite une analyse de scénarios orientée vers l'avenir et l'évaluation de stratégies dans le contexte d'un large éventail d'avenirs possibles. Cette démarche conduit à l'examen périodique des investissements (et, le cas échéant, à des modifications) et améliore les politiques et les pratiques grâce à un apprentissage par itération à partir des résultats obtenus. Il est tout aussi important d'élargir la portée spatiale de la planification pour être prêt à faire face à des changements susceptibles de se propager sur de vastes distances : la fonte des glaciers qui modifie l'approvisionnement en eau des zones urbaines situées plusieurs centaines de kilomètres en aval ; les sécheresses de grande ampleur qui affectent les marchés céréaliers régionaux ; l'accélération de l'exode rural sous l'effet de la dégradation de l'environnement. Toutefois, il est parfois difficile d'apporter les changements structurels nécessaires en raison de l'inertie qui caractérise les pratiques de gestion en vigueur²¹.

La mise en œuvre de telles stratégies dans le cadre d'une gestion évolutive passe par la production constante d'informations, une planification et une conception souples et robustes, une mise en œuvre participative, ainsi que le suivi et l'évaluation des retours d'information. Elle recadre les décisions et la gestion en fonction des contextes et processus écologiques et sociaux, tels que les bassins versants et les écorégions, et peut être pilotée par des systèmes de gestion communautaire ou locale²². Elle met l'accent sur la gestion guidée par les connaissances scientifiques et locales, ainsi que sur l'application expérimentale des politiques, ce qui permet de mieux appréhender les problèmes, de faire de l'apprentissage un objectif et d'améliorer la capacité de prise de décisions en dépit des incertitudes existantes (encadré 2.1)²³²⁴.

La participation des parties prenantes aux activités de planification a pour effet d'accroître le degré d'adhésion de la population et la pérennité des mesures mises en œuvre²⁵. Les villes de Boston et Londres ont toutes deux adopté des stratégies climatiques. À Boston, l'initiative était fondée sur la recherche, et les parties intéressées n'y ont participé que

de façon irrégulière. L'étude finale, perçue comme excessivement technique, a eu peu de répercussions. Londres a suivi un processus partant de la base et impliquant de nombreuses parties concernées. Après la publication du rapport « London Warming », le Partenariat de lutte contre le changement climatique est passé du stade de l'organisation des parties prenantes à la planification de l'adaptation²⁶.

L'adaptation au changement climatique passe par l'utilisation d'un modèle de prise de décision axé sur le risque, privilégiant la robustesse et la planification à long terme et reposant sur des structures locales, communautaires et nationales adéquates, ainsi que sur des systèmes nationaux de gouvernance appropriés²⁷. L'intensification des pressions exercées sur des ressources limitées (terres, eau), conjuguée aux grandes mutations sociodémographiques (croissance de la population, urbanisation, mondialisation) et à l'évolution du climat, crée une situation où l'on peut très difficilement s'abstenir de gérer les risques. Une tempête qui s'abat sur une ville côtière moderne dont la population est en pleine expansion peut causer beaucoup plus de dégâts que dans le passé, lorsque la côte était moins peuplée et moins construite. Face aux incertitudes engendrées par le changement climatique, le recours à des stratégies robustes et à une gestion évolutive

ENCADRÉ 2.1 *Les caractéristiques de la gestion évolutive*

La gestion évolutive a pour objet de guider la mise en œuvre d'interventions dans un contexte incertain. Elle repose sur le principe selon lequel les enseignements concrets tirés de l'application expérimentale des politiques et l'utilisation de nouvelles informations scientifiques et connaissances techniques permettent d'éclairer les mesures de gestion afin d'améliorer la compréhension des problèmes, d'orienter les décisions futures, de suivre les résultats des interventions et de concevoir de nouvelles pratiques. Cette méthode permet de définir des mécanismes d'évaluation de scénarios de rechange et de mesures structurelles et non structurelles, de comprendre les hypothèses utilisées et de les remettre en question, et de prendre expressément en compte les incertitudes. La gestion évolutive table sur le long terme aux fins de planification et de renforcement des capacités, et s'aligne sur les processus écologiques à une échelle spatiale appropriée. Elle crée un cadre propice aux éléments suivants : la coopération entre les échelons administratifs, les secteurs et les services responsables ; la participation de nombreux acteurs (y compris les centres de recherche et les organisations non gouvernementales) à la recherche de solutions et à la prise de décisions ; et une législation modulable visant à appuyer l'action locale et capable d'intégrer de nouvelles informations.

Sources : Basé sur Raadgever *et al.* 2008 ; Olsson, Folke et Berkes 2004.

est le meilleur moyen de gérer les risques physiques, financiers et sociaux.

Gérer les risques physiques : éviter ce qui peut l'être

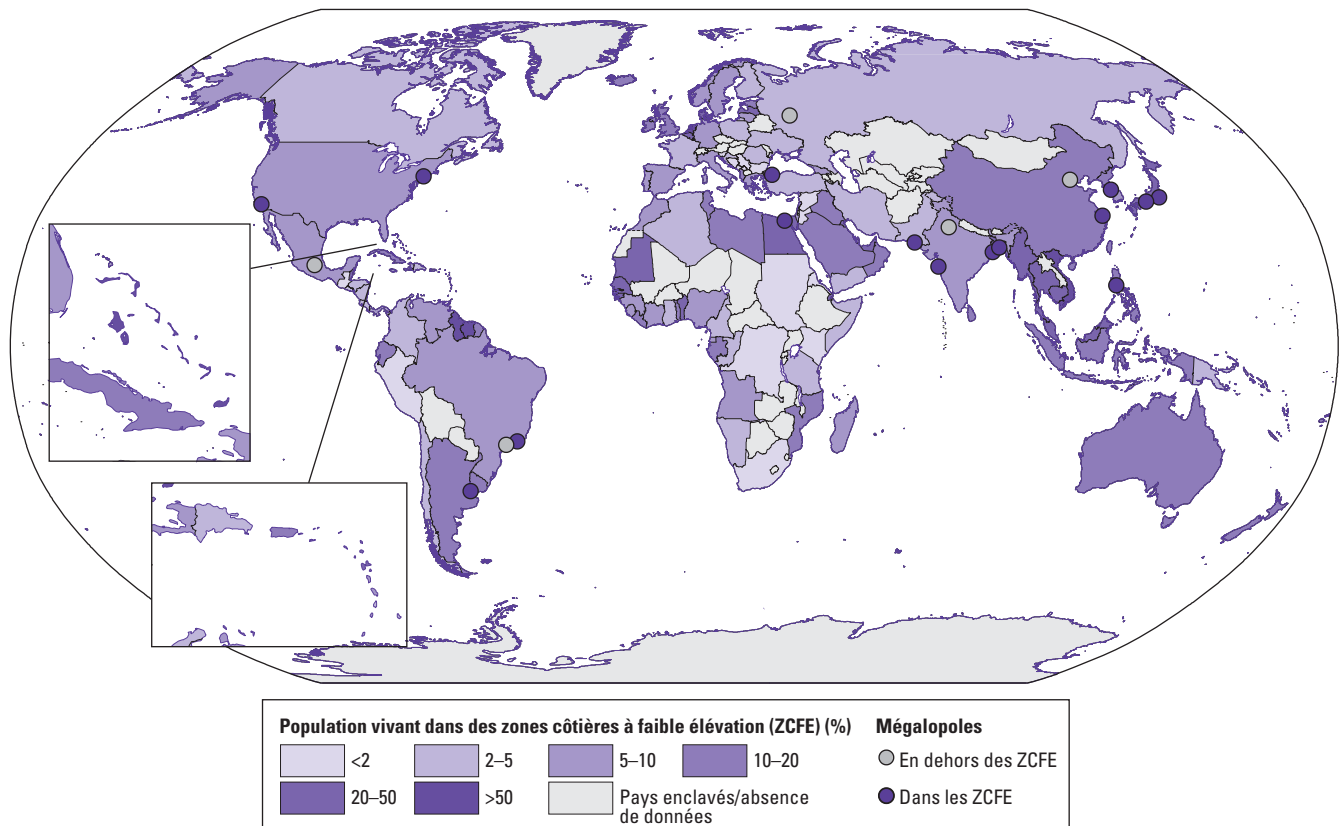
Lorsqu'ils sont bien gérés, les systèmes naturels peuvent atténuer la vulnérabilité de l'espèce humaine aux risques climatiques, produire des avantages annexes en termes de développement et contribuer à réduire la pauvreté, préserver la diversité biologique et fixer le carbone. L'adaptation basée sur les écosystèmes – préserver ou reconstituer les écosystèmes naturels pour réduire la vulnérabilité humaine – est un moyen de réduire les risques climatiques qui est efficace par rapport aux coûts et présente de multiples avantages (voir thème B). Par exemple, les bassins versants boisés exercent sur l'écoulement des eaux provenant de pluies modérées un effet régulateur bien supérieur à celui des bassins versants non boisés, mais cet effet d'éponge est rapidement saturé en cas de pluies abondantes et la majeure partie des eaux s'écoule alors rapidement sur les terres²⁸. Des terres humides abondamment recouvertes de végétation peuvent être nécessaires pour mieux maîtriser l'écoulement des eaux

évacuées ensuite par les systèmes de drainage naturels. En revanche, les terres humides affectées à l'agriculture ou à des peuplements urbains, ainsi que les systèmes de drainage simplifiés, ne peuvent pas jouer ce rôle, ce qui entraîne des inondations. Une approche globale de la gestion des inondations comporte les mesures suivantes : préserver les bassins versants, gérer les terres humides et les lits des rivières, choisir soigneusement l'emplacement des infrastructures et planifier le développement urbain de façon appropriée. De même, les mangroves situées le long des côtes constituent une protection contre les ondes de tempête, d'une part en amortissant l'afflux d'eau, d'autre part en créant une distance entre la mer et les habitats humains situés derrière les mangroves.

Construire des villes intelligentes sur le plan climatique

La moitié de la population mondiale vit désormais en ville, une proportion qui atteindra 70 % d'ici à 2050²⁹. On estime que l'accroissement de la population urbaine (5 millions de nouveaux résidents par mois) aura lieu à 95 % dans les pays en développement ; ce sont les villes de petite taille qui

Carte 2.1 En danger : Les populations et les mégalo-poles se concentrent dans les zones côtières à faible élévation menacées par la hausse du niveau de la mer et les ondes de tempêtes



Source : Organisation des Nations Unies 2008a.

Note : en 2007, figuraient au nombre des mégalo-poles les villes suivantes : Beijing, Bombay, Buenos Aires, Le Caire, Calcutta, Dacca, Istanbul, Karachi, Los Angeles, Manille, Mexico, Moscou, New Delhi, New York, Osaka, Rio de Janeiro, São Paulo, Séoul, Shanghai et Tokyo. Les mégalo-poles sont les villes qui comptent plus dix millions d'habitants.

connaîtront la plus forte expansion³⁰. Les zones urbaines ont pour effet de concentrer les populations et les actifs économiques, souvent dans des zones menacées, car, à travers l'histoire, les villes se sont développées dans des zones côtières et au confluent de rivières. De fait, environ 600 millions de personnes et 15 des 20 mégapoles de la planète se situent dans des zones côtières basses menacées par la hausse du niveau de la mer et les raz-de-marée (carte 2.1)³¹.

Le changement climatique n'est qu'un des multiples facteurs de vulnérabilité des villes. Dans de nombreuses villes côtières, les migrations gonflent le nombre d'habitants menacés par l'augmentation du niveau de la mer, les ondes de tempête et les inondations³² ; c'est le cas à Shanghai, où l'afflux annuel net d'habitants est quatre fois supérieur à la croissance naturelle de la population³³. Par ailleurs, de nombreuses villes situées dans des deltas s'affaissent sous l'effet du pompage d'eau souterraine et de la diminution des dépôts de sédiments due aux barrages construits en amont. Si de nombreuses villes côtières (Nouvelle-Orléans, Shanghai) sont confrontées depuis longtemps au problème de l'affaissement des sols, la menace est nouvelle pour Hanoi, Jakarta et Manille³⁴. La poursuite du développement urbain vers l'intérieur des terres accroît la demande d'eau en amont et de nombreuses rivières, dont le Nil, n'atteignent plus leur delta.

Si elle est convenablement réalisée, l'urbanisation peut permettre de mieux résister aux risques climatiques. L'accroissement de la densité démographique réduit le coût par habitant des services d'eau salubre courante, des réseaux d'égout, du ramassage des ordures et de la plupart des autres infrastructures et services publics. Une planification urbaine avisée s'attache à limiter les constructions dans les zones inondables et à fournir un accès aux services essentiels. La construction de certaines infrastructures (remblais ou digues) peut assurer une protection physique à un grand nombre de personnes ; il faudra toutefois aménager des marges de sécurité supplémentaires là où le changement climatique accroît les risques. Par ailleurs, de solides systèmes de communication, de transport et d'alerte avancée permettent d'évacuer rapidement la population, comme c'est le cas à Cuba où quelque 800 000 personnes sont régulièrement évacuées en 48 heures lorsqu'un ouragan menace³⁵. Ces mesures peuvent aider les citoyens à faire face aux chocs à court terme et à s'adapter au changement climatique à long terme³⁶.

Les villes sont des systèmes dynamiques dotés d'une grande capacité d'adaptation qui offrent une vaste gamme de solutions novatrices aux problèmes environnementaux. Divers pays étudient de nouvelles stratégies de développement urbain visant à répartir la prospérité au plan régional. La République de Corée a lancé un ambitieux programme en vue de développer des « villes innovantes » pour décentraliser les activités économiques du pays³⁷. Une grande partie de

ces efforts porte sur l'innovation technologique et offre de nouvelles possibilités pour concevoir des cités du futur aptes à relever les défis du changement climatique.

Les initiatives mises en œuvre pour orienter la répartition spatiale par le biais d'interventions relevant de politiques publiques ont toutefois donné des résultats mitigés. Les efforts déployés par la République arabe d'Égypte pour décongestionner Le Caire grâce à la création de villes satellites n'ont pas permis d'attirer le nombre d'habitants escompté et n'ont pas stoppé l'accroissement de la population du Caire, en partie en raison de l'absence de politiques d'intégration régionale³⁸. Les politiques qui donnent de bons résultats sont celles qui facilitent la concentration et les migrations au début du processus d'urbanisation, et la connectivité interurbaine au cours des phases ultérieures. Les investissements publics en infrastructures sont particulièrement efficaces lorsqu'ils aboutissent à une plus grande équité sociale (grâce à un accès élargi aux services) et intègrent l'espace urbain (grâce aux systèmes de transport)³⁹.

L'urbanisation se fait rarement de façon harmonieuse : elle pollue, crée des poches d'extrême pauvreté et engendre des fractures sociales majeures. Dans les zones urbaines des pays en développement, 746 millions de personnes (le quart des pauvres du monde) vivent en dessous du seuil de pauvreté⁴⁰, et le faible niveau des revenus et de la consommation n'est pas leur seul problème. Le surpeuplement, l'insécurité des titres de propriété, les implantations illégales situées dans des zones inondables ou menacées par les glissements de terrain, le manque d'assainissement, les habitations dangereuses, la malnutrition et le mauvais état de santé de la population exacerbent les vulnérabilités des 810 millions de personnes qui vivent dans les bidonvilles⁴¹.

Ces nombreuses vulnérabilités appellent une amélioration de la planification urbaine et des activités de développement dans leur ensemble. Les organismes publics, notamment locaux, peuvent influencer la capacité d'adaptation des ménages et des entreprises (encadré 2.2), mais les activités des organisations communautaires et non gouvernementales (ONG) sont aussi d'une grande importance, notamment l'action menée par les organisations qui construisent des logements et fournissent directement des services, comme le font les associations d'habitants de bidonvilles⁴². Une planification avisée et une bonne réglementation permettent d'identifier les zones urbaines dangereuses et d'aider les groupes à faible revenu à trouver un logement sûr à un prix abordable, comme c'est le cas à Ilo (Pérou) où les autorités locales ont pu faire face, dans de bonnes conditions, au quintuplement de la population après 1960⁴³. Des investissements lourds dans le domaine des infrastructures peuvent cependant s'imposer pour protéger les zones côtières – telles que les villes d'Afrique du Nord – avec des digues et des murs de protection (encadré 2.3).

ENCADRÉ 2.2 Concevoir des villes plus vertes et plus sûres : l'exemple de Curitiba

Bien que sa population ait septuplé de 1950 à 1990, la ville brésilienne de Curitiba a su, grâce à une bonne gestion des affaires publiques et à la coopération sociale, demeurer une agglomération propre et efficace. Le Plano Director, programme innovateur adopté par la ville en 1968 et exécuté par l'Instituto de Pesquisa Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), est la clé de cette réussite.

Au lieu de recourir à des solutions de haute technologie, telles que le métro ou de coûteuses installations de tri des déchets, en matière d'infrastructures urbaines, l'IPPUC utilise des technologies efficaces au plan tant du coût que du fonctionnement.

L'utilisation des sols et les transports ont été planifiés selon une approche intégrée, et le plan radial (ou axial) de la ville a été tracé de manière à détourner la circulation du centre-ville (les trois quarts des habitants utilisent un réseau d'autobus très performant). La zone industrielle a été construite à proximité du centre de l'agglomération pour réduire autant que possible les déplacements de la main-d'œuvre. De nombreuses réserves naturelles ont été aménagées autour de la zone industrielle pour réguler les inondations.

La gestion des déchets participe de cette réussite : 90 % des résidents recyclent au moins les deux tiers de leurs déchets. Dans

les quartiers à faible revenu où la gestion conventionnelle des ordures est difficile, le programme d'« achat de déchets » permet aux habitants d'échanger leurs déchets contre des jetons d'autobus, des produits alimentaires excédentaires et des blocs-notes scolaires.

Certaines villes suivent l'exemple de Curitiba. À Juarez (Mexique), par exemple, l'Institut municipal d'urbanisme construit de nouveaux logements et convertit en parc municipal la zone inondable naguère habitée.

Source : Roman 2008.

Les inondations sont un risque majeur en milieu urbain. Elles sont souvent dues aux bâtiments, infrastructures et surfaces revêtues qui empêchent l'infiltration des eaux et sont aggravées par les insuffisances des systèmes de drainage. Dans les villes bien gérées, les inondations sont rare-

ment un problème, car un réseau de drainage à ciel ouvert a été inséré dans le tissu urbain pour évacuer les eaux de crue provoquées par des phénomènes météorologiques extrêmes pour lesquels la capacité des infrastructures de protection se révèle insuffisante (voir encadré 2.3). En revanche, même

ENCADRÉ 2.3 L'adaptation au changement climatique : Alexandrie, Casablanca et Tunis

Alexandrie, Casablanca et Tunis – trois villes de trois millions à cinq millions d'habitants – ont entrepris d'évaluer l'ampleur des effets prévus du changement climatique et d'établir des scénarios d'adaptation pour 2030 dans le cadre d'une étude régionale. Les mesures qu'elles ont adoptées dans un premier temps pour remédier à leur vulnérabilité croissante témoignent de stratégies d'adaptation contrastées.

À Alexandrie, la construction récente de la corniche – une grande route à six voies aménagée sur la côte même – a aggravé l'érosion du littoral, accentué la pente des fonds marins et, ce faisant, prolongé la propagation des ondes de tempête à l'intérieur de la ville. Les autorités construisent des ouvrages de protection maritime sans avoir procédé à des études d'ingénierie adéquates, ni établi un degré de concertation suffisant entre les institutions responsables. Un lac proche de la ville, réceptacle naturel des eaux de drainage, est fortement pollué et suscite des pressions de la part du secteur immobilier, qui souhaite se l'approprier à des fins de construction.

À la suite des inondations catastrophiques dont elle a été récemment victime, Casablanca a entrepris des travaux pour améliorer la gestion des bassins versants en amont de la ville et élargir les principaux canaux de drainage. Les fuites du réseau d'alimentation en eau des ménages ont été réparées, ce qui a permis d'économiser l'équivalent de la consommation d'environ 800 000 personnes. Pour autant, la gestion des zones côtières demeure un sujet de préoccupation en raison du manque de moyens permettant de réfréner la construction et de réduire l'extraction de sable sur les plages.

Pour remédier au problème des inondations urbaines, Tunis améliore ses canaux de drainage et lutte contre les constructions non autorisées autour de certains réservoirs naturels. Elle construit des ouvrages le long de la mer pour protéger les quartiers côtiers les plus menacés, et le nouveau plan d'urbanisme oriente l'aménagement urbain du côté opposé à la mer. Mais le centre-ville, déjà en dessous du niveau de la mer, s'affaisse ; les installations portuaires et logistiques, ainsi

que les centrales électriques et les stations de traitement des eaux, sont menacées.

Certains grands projets d'aménagement urbain, s'ils voient le jour, risquent aussi d'aggraver la vulnérabilité de la ville face à l'élévation du niveau de la mer.

À Alexandrie, Casablanca et Tunis, l'adaptation au changement climatique devrait avant tout faire intervenir les mesures suivantes : amélioration de l'urbanisme ; conception de scénarios de développement et d'utilisation des sols capables d'atténuer la vulnérabilité de la ville ; recherche de solutions à la vulnérabilité d'infrastructures essentielles telles que les ports, les routes, les ponts et les stations de traitement des eaux ; renforcement de la capacité des institutions concernées à coordonner la riposte et à gérer les situations d'urgence. De surcroît, l'efficacité énergétique des bâtiments et des réseaux municipaux est conciliable avec le renforcement de la capacité d'adaptation au changement climatique tout en réduisant les gaz à effet de serre.

Source : Bigio 2008.

des pluies de faible intensité peuvent saturer les canaux de drainage et provoquer rapidement des inondations locales si la gestion des déchets solides et l'entretien des réseaux de drainage laissent à désirer ; à Georgetown (Guyana), ce type de situation a provoqué 29 inondations entre 1990 et 1996⁴⁴.

Les villes doivent aussi regarder au-delà de leurs frontières pour se préparer à affronter le changement climatique. De nombreuses villes des Andes réaménagent leur approvisionnement en eau en raison de la fonte des glaciers et en prévision de leur disparition totale. Par suite de la fonte des glaces, l'approvisionnement en eau n'est plus assuré durant la saison sèche et les réservoirs devront compenser le fait que les glaciers ne jouent plus leur rôle de stockage et de régulation des eaux⁴⁵. Dans les deltas d'Asie du Sud-Est, les

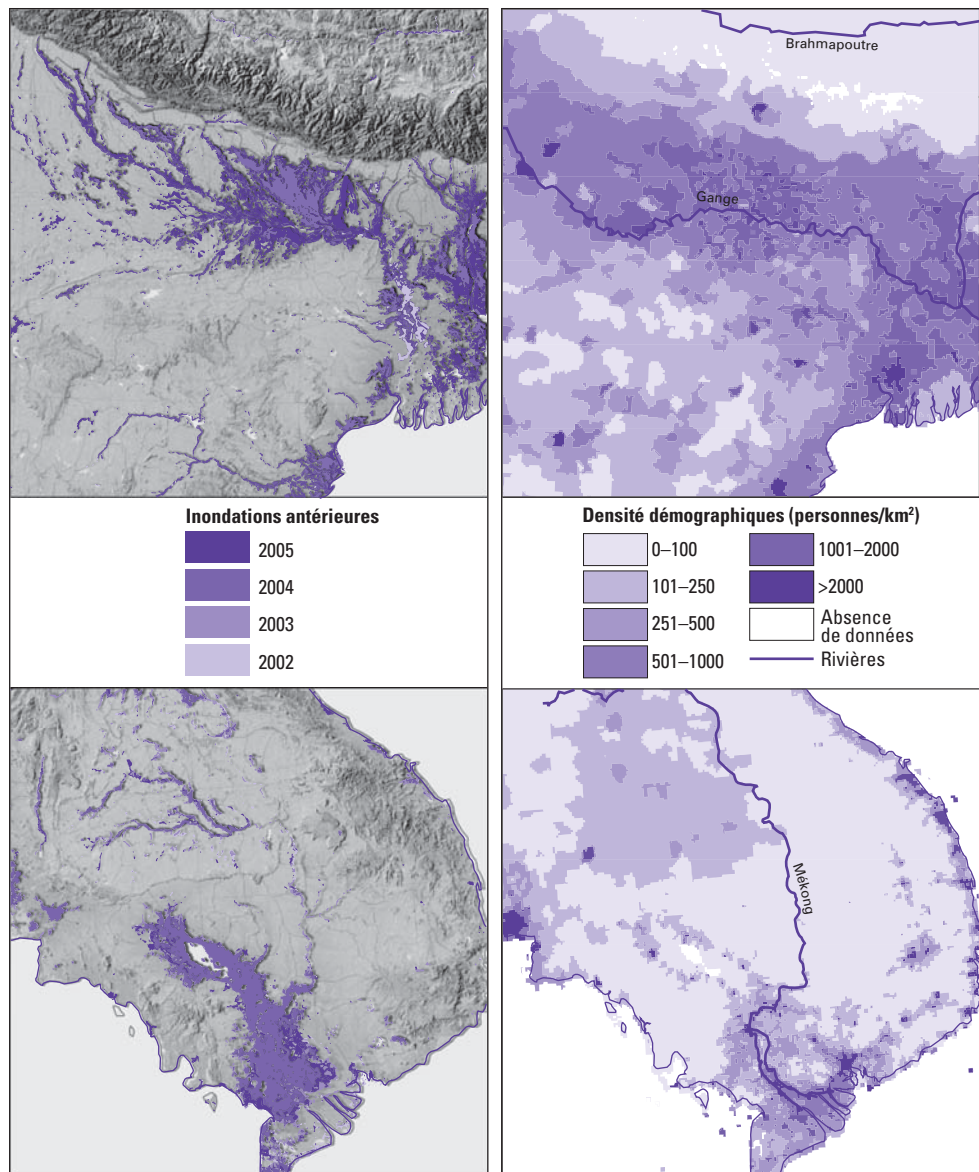
banlieues en croissance rapide de villes telles que Bangkok et Hô Chi Minh-Ville empiètent sur les rizières, réduisent les capacités de rétention et augmentent les risques d'inondation⁴⁶. Ces risques peuvent s'aggraver lorsque les zones de stockage situées en amont atteignent leur capacité maximale et doivent déverser de l'eau. Le niveau maximal des débits fluviaux devrait augmenter dans les bassins d'Asie du Sud et du Sud-Est sous l'effet du changement climatique, ce qui nécessitera un surcroît d'efforts en amont pour protéger les centres urbains situés en aval (carte 2.2)⁴⁷.

Les municipalités peuvent promouvoir la réduction du risque et la planification axée sur le risque. La création d'une base de données sur les risques – mise au point conjointement par les citoyens, les entreprises et les autorités – est

Sources : analyse de l'équipe chargée de la rédaction du Rapport sur le développement dans le monde. Données sur les inondations : Dartmouth Flood Observatory 2009. Données démographiques : CIESIN 2005.

Note : le problème des inondations est indissociable de la culture et de l'activité économique des peuples d'Asie du Sud et du Sud-Est. Un grand nombre d'êtres humains vivent dans les plaines inondables de certains grands bassins fluviaux (Gange, cartes du haut ; Mékong, cartes du bas), dans lesquels les activités agricoles et divers centres urbains en expansion sont exposés aux risques d'inondations saisonnières. Le changement climatique entraînera probablement une augmentation des inondations en raison de la fonte des glaciers dans la partie supérieure du bassin versant de la région de l'Himalaya et sous l'effet de pluies de mousson plus courtes mais plus intenses, qui modifieront sans doute le régime des crues dans la région. Simultanément, les centres urbains empiètent rapidement sur les terres agricoles qui servent de zones de rétention naturelles aux eaux de crues, ce qui compliquera la gestion des crues et de l'urbanisation à l'avenir.

Carte 2.2 Un défi complexe : gérer la croissance urbaine et les risques d'inondation dans le contexte du changement climatique en Asie du Sud et du Sud-Est



la première étape d'un processus visant à fixer des priorités et à identifier les zones sensibles. De surcroît, l'adoption d'un mandat municipal par voie de décret et de législation peut favoriser la prise en compte systématique du problème, comme à Makati – ville des Philippines exposée aux risques d'inondation –, où le Conseil de coordination pour les situations de catastrophe planifie la gestion municipale des risques liés aux catastrophes naturelles⁴⁸.

De nombreuses initiatives municipales visant à promouvoir le développement local et accroître la résistance aux phénomènes extrêmes et aux catastrophes naturelles recourent aux mesures d'adaptation, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement en eau, l'assainissement, le drainage, les services de santé axés sur la prévention et la préparation aux situations de catastrophe (encadré 2.4). Ces interventions seront sans doute dans l'intérêt immédiat des décideurs en milieu urbain (voir chapitre 8)⁴⁹. De toute évidence, il est plus facile de surmonter les obstacles politiques aux interventions climatiques si l'on présente les initiatives d'adaptation comme étant dans l'intérêt immédiat de la ville⁵⁰.

La construction de villes « intelligentes » sur le plan climatique nécessitera une utilisation intensive des nouvelles technologies. Or, une grande partie des compétences techniques disponibles dans les pays en développement est concentrée dans l'administration centrale, les collectivités locales étant souvent contraintes de puiser dans un réservoir d'expertise limité⁵¹. Les universités urbaines peuvent jouer un rôle essentiel à l'appui des efforts déployés par les villes pour adopter et mettre en œuvre des pratiques intelligentes sur le plan climatique en modifiant leurs programmes et leurs méthodes d'enseignement de manière à permettre aux

étudiants de consacrer davantage de temps à la recherche de solutions sur le terrain.

Maintenir les gens en bonne santé

Les maladies liées au climat – malnutrition, maladies diarrhéiques et maladies à transmission vectorielle (notamment le paludisme) – constituent déjà un gros problème dans certaines régions, notamment en Afrique et en Asie du Sud. Le changement climatique alourdira ce fardeau, surtout au détriment des pauvres (voir chapitre 1)⁵². Les 150 000 décès annuels supplémentaires que les estimations attribuent au changement climatique durant les dernières décennies ne sont peut-être que la partie émergée de l'iceberg⁵³. Les effets indirects du changement climatique qui s'exercent par le biais de l'eau, de l'assainissement, des écosystèmes, de la production alimentaire et de l'habitat humain pourraient être beaucoup plus élevés. Les enfants sont particulièrement menacés, la malnutrition et les maladies infectieuses (surtout les maladies diarrhéiques) s'inscrivant dans un cercle vicieux à l'origine de problèmes cognitifs et de troubles de l'apprentissage qui nuisent de façon permanente à la productivité. Au Ghana et au Pakistan, on estime que la malnutrition et les maladies diarrhéiques, en provoquant une baisse de la productivité à long terme, coûteront aux pays jusqu'à 9 % de leur produit intérieur brut (PIB). Ce coût augmentera inévitablement avec le réchauffement climatique si les pays tardent à s'adapter à ces conditions⁵⁴.

Les canicules récentes, telles que celle qui a provoqué la mort de 70 000 personnes en Europe en 2003, ont montré que même les pays à revenu élevé étaient vulnérables⁵⁵. La fréquence et l'intensité des vagues de chaleur augmenteront probablement (carte 2.3)⁵⁶, les îlots de chaleur urbains

ENCADRÉ 2.4 Promouvoir les synergies entre l'atténuation et l'adaptation

L'organisation spatiale des villes, c'est-à-dire leur structure, influe sur l'utilisation de l'énergie et l'efficacité énergétique. La concentration des populations et de la consommation tend à s'accroître rapidement durant les phases initiales de l'urbanisation et du développement. Dans les zones urbaines à forte densité, l'efficacité énergétique est plus élevée qu'ailleurs et les déplacements sont plus courts (voir chapitre 4, encadré 4.7). D'un autre côté, l'augmentation de la densité démographique, de l'activité économique et des infrastructures amplifie les effets du climat sur les villes. Par exemple, les espaces verts, susceptibles d'atténuer l'effet « îlot thermique urbain », peuvent pâtir de la construction d'immeubles. De même, la densification de la population et

le recouvrement des surfaces d'infiltration qui l'accompagne entravent le drainage en milieu urbain qui contribue à atténuer les inondations.

Un urbanisme intelligent sur le plan climatique peut créer des synergies entre les efforts d'atténuation et d'adaptation. La promotion de sources d'énergie renouvelable tend à favoriser la décentralisation de l'approvisionnement énergétique. Les espaces verts procurent de l'ombre et de la fraîcheur, ce qui réduit la nécessité de climatiser les bâtiments ou de quitter la ville pendant les canicules. Les toits végétalisés permettent d'économiser de l'énergie, de maîtriser les eaux d'orage et de rafraîchir les constructions. Les synergies entre l'adaptation et l'atténuation dépendent souvent de la

hauteur des bâtiments, de leur disposition, de l'espacement, des matériaux utilisés, de l'ombrage, de la ventilation et de la climatisation.

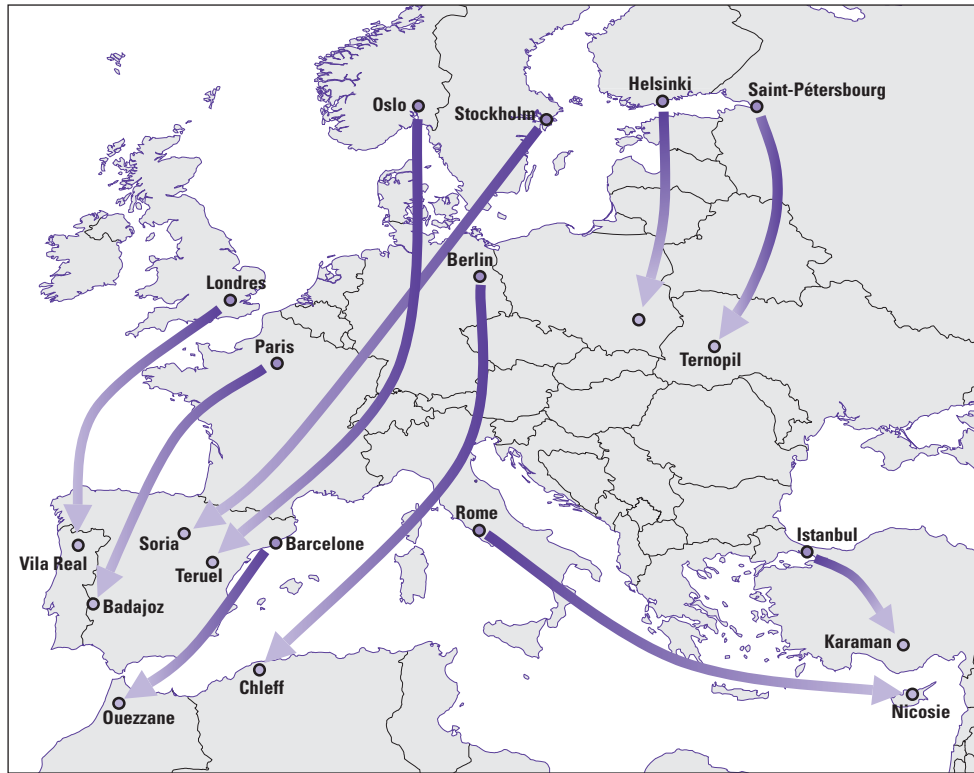
De nombreux plans d'aménagement intelligents au plan climatique, conjuguant les principes écologiques, les sensibilités sociales et l'efficacité énergétique, ont été conçus à l'intention de zones urbaines chinoises, telles que Dongtan, près de Shanghai, mais ils sont jusqu'à présent restés au stade de projets.

Sources : Girardet 2008 ; Laukkonen *et al.* 2009 ; McEvoy, Lindley et Handley 2006 ; Wang et Yaping 2004 ; Banque mondiale 2008g ; Yip 2008.

Source : Analyse de l'équipe chargée de la rédaction du Rapport sur le développement dans le monde ; tiré de Kopf, Ha-Duong et Hallegatte 2008.

Note : sous l'effet de la hausse des températures mondiales, les zones climatiques se déplaceront vers le nord ; vers le milieu du XXI^e siècle, de nombreuses villes du centre et du nord de l'Europe auront un aspect méditerranéen. Cette évolution, qui n'est pas une bonne nouvelle, a de sérieuses répercussions : les services des eaux devront adapter leurs plans de gestion, tandis que les services de santé devront faire face à des périodes de températures extrêmes plus fréquentes (semblables à la vague de chaleur qui a frappé l'Europe en 2003). Quelques degrés supplémentaires peuvent paraître agréables un jour d'hiver à Oslo (le scénario décrit sur la carte correspond approximativement à une hausse de 1,2 °C de la température mondiale par rapport à aujourd'hui), mais ils nécessiteraient d'importants changements en matière de planification, de santé publique et d'infrastructures urbaines. Des bâtiments qui avaient été conçus et aménagés en prévision d'hivers rigoureux devront fonctionner dans un climat plus sec et plus chaud, et les édifices à valeur patrimoniale risquent de subir des dommages irréparables. Aujourd'hui, la construction de nouveaux bâtiments pose un problème particulièrement difficile, car ceux-ci doivent être conçus avec suffisamment de souplesse pour s'adapter progressivement à une évolution radicale des conditions extérieures durant les décennies à venir.

Carte 2.3 Les villes du nord doivent se préparer à un climat méditerranéen – maintenant



ENCADRÉ 2.5 Se préparer aux vagues de chaleur

À la suite des vagues de chaleur de 2003, le ministère espagnol de la santé et les services de santé de Catalogne (CatSalut) ont mis en œuvre un vaste plan d'action interministériel et interinstitutionnel pour atténuer les répercussions des futures canicules sur la santé^a. Le plan prévoit le déclenchement de mesures de santé (à tous les niveaux de soins) et de communications grâce à un système d'alerte « chaleur-santé ».

Le plan prévoit trois niveaux d'action durant la saison estivale :

- Le niveau 0 intervient le 1^{er} juin et porte essentiellement sur l'état de préparation.
- Le niveau 1 entre en vigueur en juillet et août et concerne principalement les évaluations météorologiques (notamment l'enregistrement quotidien des températures et du degré d'humidité), la veille sanitaire, l'évaluation des

mesures préventives et la protection des populations à risque.

- Le niveau 2 est activé seulement lorsque les températures dépassent le seuil d'alerte (35 °C dans les zones côtières et 40 °C à l'intérieur des terres), stade auquel des mesures sont prises en matière de services de santé, de services sociaux et de services d'urgence.

Le plan d'action et son système d'intervention sanitaire reposent sur l'utilisation de centres de soins de santé primaires (services sociaux compris) dans la région. Les centres identifient et localisent les populations vulnérables pour mieux les aider et diffuser des informations de santé publique durant l'été. En outre, ils rassemblent des données sanitaires pour suivre et évaluer les effets des vagues de chaleur sur la santé, ainsi que l'efficacité des interventions.

Des programmes similaires sont en cours dans d'autres endroits, tels que le Pays de Galles, qui a mis en place un cadre de préparation et de réaction aux vagues de chaleur. Le système se compose de directives visant à prévenir et à soigner les maladies liées à la chaleur, d'un mécanisme d'alerte avancée pour les mois d'été et d'un système de communication avec le centre météorologique^b. La métropole de Shanghai s'est équipée d'un système de pré-alerte « chaleur-santé » dans le cadre de son plan de gestion multirisques^c.

Sources :

- a. CatSalut 2008.
- b. Welsh Assembly Government 2008.
- c. Projet témoin de système d'alerte avancée multirisques de Shanghai, <http://smb.gov.cn/SBQXWebInEnglish/TemplateA/Default/index.aspx> (consulté le 13 mars 2009).

produisant des températures supérieures de 3,5 °C à 4,5 °C aux valeurs enregistrées dans les zones rurales avoisinantes⁵⁷. Plusieurs pays et zones métropolitaines ont mis en place des systèmes d'alerte « chaleur-santé » pour mieux se préparer à faire face au problème (encadré 2.5).

Les maladies à transmission vectorielle étendent leur présence géographique et réapparaissent en Europe de l'Est et en Asie centrale⁵⁸. Le paludisme met déjà à rude épreuve les économies des régions tropicales⁵⁹ et provoque près d'un million de décès par an (en majorité des enfants) ; selon les prévisions, rien qu'en Afrique, le changement climatique exposera 90 millions de personnes supplémentaires (soit une augmentation de 14 %) à la maladie d'ici à 2030⁶⁰. La dengue s'est propagée à d'autres régions (carte 2.4) et le changement climatique devrait doubler le taux de personnes exposées à la maladie pour le faire passer de 30 % à 60 % de la population mondiale (soit 5 à 6 milliards d'habitants)

d'ici à 2070⁶¹. Les systèmes nationaux de santé ont besoin de procédures de surveillance sanitaire plus perfectionnées et de systèmes d'alerte avancée pour détecter et suivre les maladies à tendance épidémique⁶². Aujourd'hui, la surveillance peine souvent à anticiper une nouvelle poussée de la maladie dans de nombreuses régions du monde, par exemple en Afrique où le paludisme s'étend aux habitants des villes en même temps que l'habitat urbain s'étend dans les zones de transmission⁶³. La télédétection satellitaire et les biocapteurs peuvent améliorer la fiabilité et la précision des systèmes de surveillance et prévenir les flambées épidémiques grâce à un dépistage précoce de l'évolution des facteurs climatiques⁶⁴. Les modèles perfectionnés de prévision de la climatologie saisonnière permettent d'anticiper les périodes de forte transmission du paludisme et de fournir aux autorités régionales africaines les informations dont elles ont besoin pour

Carte 2.4 Le changement climatique accélère le retour de la dengue sur le continent américain



Source : OPS 2009.

Note : Les maladies infectieuses et vectorielles se sont propagées dans d'autres régions du monde. Sur le continent américain, la prévalence de la dengue s'est accrue sous l'effet de l'augmentation de la densité démographique et l'intensification des voyages et des échanges internationaux. La hausse de l'humidité et des températures causée par le changement climatique accentue la menace et facilite la prolifération des vecteurs de maladie (moustiques) dans des endroits qui, dans le passé, n'étaient pas propices à la maladie ; voir Knowlton, Solomon et Rotkin-Ellman 2009.

faire fonctionner des systèmes d'alerte avancée et davantage de temps pour prendre des mesures plus efficaces⁶⁵.

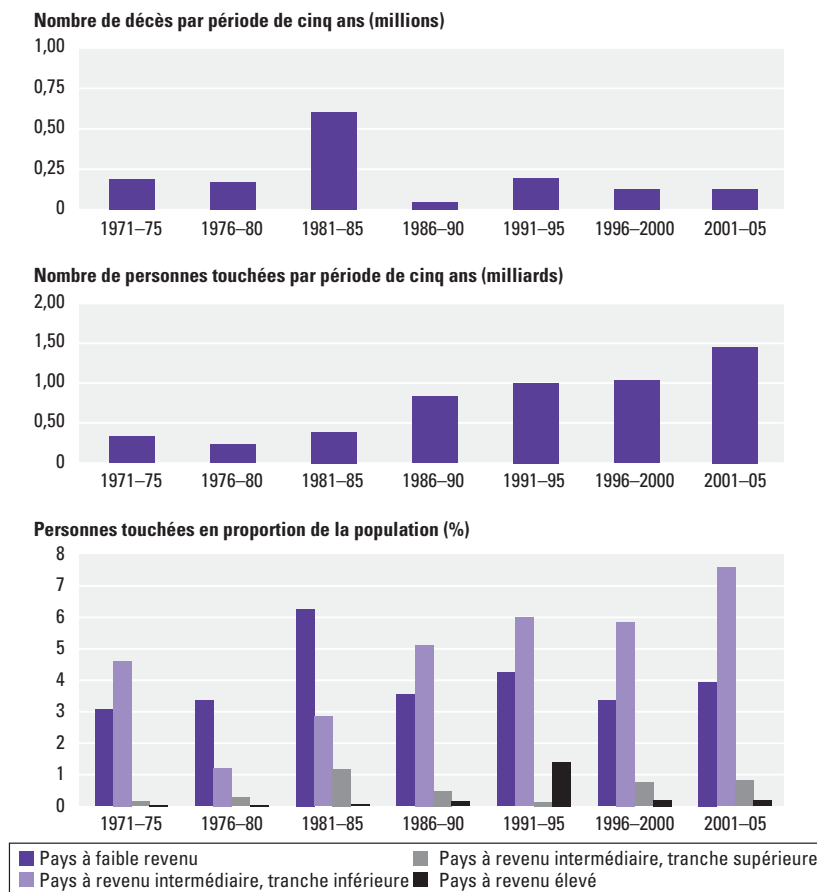
La plupart des mesures visant à prévenir ces maladies ne sont pas nouvelles, mais, en raison du changement climatique, il devient encore plus urgent d'améliorer l'exécution des programmes de santé publique établis de longue date⁶⁶. Pour interrompre le processus de transmission, il convient d'améliorer la gestion de l'eau (drainage en milieu urbain), d'améliorer l'assainissement et l'hygiène (réseaux d'égouts, installations d'assainissement, lavage des mains) et de contrôler efficacement les vecteurs de maladies en limitant le nombre d'insectes qui transmettent des agents pathogènes ou en les éliminant⁶⁷.

Ces interventions exigent des mesures intersectorielles coordonnées, ainsi que des dépenses publiques. En ce qui concerne les maladies hydriques, les interventions doivent inclure la participation des organismes de santé, des services de travaux publics et des services d'utilité publique⁶⁸. Une gestion concertée des questions d'eau, d'assainissement, d'hygiène et de sécurité alimentaire – conjuguée à la gestion

des services de santé et des catastrophes naturelles – peut avoir des retombées importantes. La mobilisation du secteur privé peut aussi procurer des avantages substantiels si elle contribue à améliorer les résultats. En Argentine, la privatisation des services des eaux dans les années 90 a fortement réduit la mortalité infantile liée aux maladies hydriques⁶⁹.

Le suivi et la gestion des effets du changement climatique sur la situation sanitaire exigeront une utilisation plus poussée de nouveaux instruments de diagnostic. Les progrès réalisés dans le domaine de la génomique et en matière de technologie de l'information accélèrent la conception d'une vaste gamme d'outils de diagnostic qui peuvent faciliter le suivi de la propagation des maladies existantes et de l'apparition de nouvelles pathologies. Les nouveaux instruments de communication faciliteront la collecte, l'analyse et l'échange d'informations sanitaires dans des délais satisfaisants⁷⁰. Ces outils, toutefois, ne suffiront pas si l'on ne dispose pas de programmes de grande envergure visant à former les agents de santé. De même, il sera nécessaire de mettre en œuvre des réformes institutionnelles majeures pour intégrer les soins

Graphique 2.1 Augmentation du nombre de personnes touchées par les catastrophes climatiques



Sources : L'équipe chargée de la rédaction du Rapport sur le développement dans le monde ; CRED 2009.

Note : au cours des quarante dernières années, les pertes humaines ont diminué, mais le nombre de personnes atteintes a doublé tous les dix ans (l'expression « personnes atteintes » désigne les individus qui ont besoin d'une aide immédiate durant une période d'urgence ; elle peut englober les personnes déplacées ou évacuées). Près de 8 % de la population des pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure sont touchés chaque année. Cette augmentation ne peut être imputée au seul changement climatique ; elle tient en grande partie à l'accroissement de la population, à une plus grande exposition des infrastructures et à une meilleure information sur les catastrophes. Les répercussions sur les populations sont toutefois bien réelles et montrent combien il est essentiel de se concentrer sur le déficit d'adaptation actuel tout en préparant un avenir moins problématique sur le plan climatique.

de santé dans d'autres activités. Les écoles, par exemple, peuvent jouer un rôle important comme centres de services de santé de base et sources d'information et d'éducation médicales.

Se préparer à des phénomènes extrêmes

Le coût économique des catastrophes naturelles s'alourdit, et il est essentiel de mieux gérer le problème dans le contexte de l'adaptation au changement climatique. S'il est vrai que le nombre de décès dus à des catastrophes naturelles liées aux aléas météorologiques diminue⁷¹, les pertes économiques causées par les tempêtes, les inondations et les sécheresses augmentent (elles sont passées de 20 milliards de dollars par an au début des années 80 à 70 milliards de dollars au début des années 2000 dans les pays à revenu élevé, et de 10 milliards de dollars à 15 milliards de dollars dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire)⁷². Cette augmentation, toutefois, s'explique davantage par l'accroissement de la valeur économique des zones exposées que par les effets du changement climatique⁷³. Le nombre des personnes touchées (c'est-à-dire les populations qui ont besoin d'aide humanitaire après une catastrophe naturelle) continue de croître ; la majeure partie d'entre elles vivent dans des pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure qui s'urbanisent rapidement (graphique 2.1)⁷⁴. Environ 90 % des pertes économiques subies par les pays en développement sont supportés par les ménages, les entreprises et les administrations publiques, les 10 % restants étant couverts par les assurances ou les fonds des donateurs.

À moins de réduire significativement l'impact des catastrophes, les progrès réalisés en termes de développement seront menacés. Aussi, les priorités évoluent-elles du traitement des catastrophes naturelles à une gestion à long terme des risques de catastrophe et à la mise en œuvre de mesures préventives plutôt que réactives. Conformément au cadre d'action de Hyogo sur la réduction des risques de catastrophe (le cadre d'action adopté en 2005 par l'Orga-

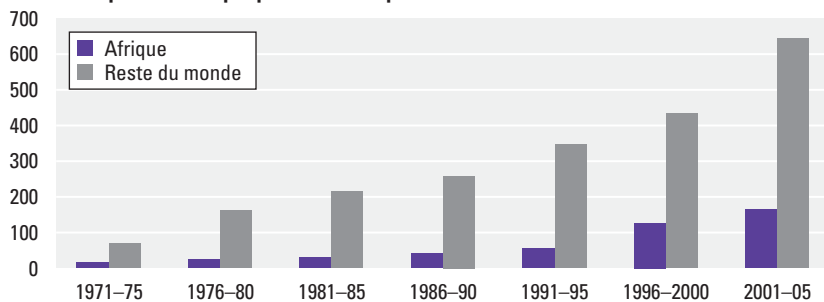
nisation des Nations Unies), les efforts de relèvement et de reconstruction sont conçus de manière à réduire les risques de catastrophes futures par la convergence des programmes humanitaires et des programmes de développement⁷⁵. Le secteur privé joue un rôle dans ce cadre via l'apport de solutions financières (assurances, évaluation des risques) et techniques (communications, construction, prestation de services)⁷⁶.

Le changement climatique accroît considérablement la nécessité de bien gérer les phénomènes climatiques extrêmes et de pratiquer une gestion des risques de catastrophe à même de renforcer l'état de préparation et de prévenir les pertes (encadré 2.6)⁷⁷. Beaucoup d'endroits sont exposés à des risques qui se concrétisaient autrefois rarement, mais qui prennent maintenant de l'ampleur. C'est le cas de l'Afrique où les inondations se multiplient (encadré 2.2) et du Brésil, frappé en 2004 par le premier ouragan jamais observé dans l'Atlantique Sud⁷⁸.

La production d'informations sur la probabilité de phénomènes climatiques extrêmes et leurs conséquences potentielles exige des données socioéconomiques (des cartes indiquant les densités de population ou la valeur des terres), ainsi que des données physiques (sur les précipitations ou les phénomènes extrêmes)⁷⁹. En raison du changement climatique, toutefois, le passé ne permet pas de prédire l'avenir (des phénomènes qui survenaient rarement naguère peuvent devenir plus fréquents) et l'incertitude qui pèse sur l'évolution du climat est une composante importante de l'évaluation des risques et de la prise de décisions en matière de planification. Il importe tout autant d'assurer le suivi et la mise à jour régulière des données socioéconomiques pour rendre compte de l'évolution de l'utilisation des sols et de la démographie. La technologie satellitaire et les systèmes d'information géographique offrent de puissants outils capables de générer des données physiques et socioéconomiques rapidement et à moindre coût (encadré 2.7 ; voir aussi les chapitres 3 et 7).

Graphique 2.2 Les inondations se multiplient, même dans les zones d'Afrique sujettes à la sécheresse

Nombre de phénomènes par période de cinq ans



Source : Analyse de l'équipe chargée de la rédaction du Rapport sur le développement dans le monde, à partir de CRED 2009.

Note : Les inondations augmentent partout, mais particulièrement en Afrique, où de nouvelles régions en sont victimes et où les zones touchées ont moins de temps pour se remettre des effets d'une inondation avant qu'une autre ne survienne. L'information sur les phénomènes naturels s'est peut-être améliorée depuis les années 70, mais ce n'est pas la cause principale de la hausse du nombre d'inondations signalées, car la fréquence d'autres catastrophes naturelles en Afrique, telles que les sécheresses et les tremblements de terre, n'a pas augmenté de la même façon.

ENCADRÉ 2.6 *Déjouer les obstacles et prendre les devants : gérer le risque des phénomènes extrêmes avant qu'ils ne virent à la catastrophe*

Les phénomènes climatiques extrêmes qui se produisent de façon récurrente – tempêtes, inondations, sécheresses, incendies de forêt – se retrouvent dans de nombreuses régions du monde et font partie du système climatique. Le changement climatique modifiera probablement leur profil, mais il est possible d'en atténuer les effets négatifs grâce à une gestion systématique des risques. Les mesures de base sont l'évaluation des risques, leur réduction et l'atténuation de leurs effets ^a. L'évaluation des risques, condition préalable à la gestion du risque, sert d'assise à la prise de décisions judicieuses. Elle permet de cibler les interventions et les ressources. La première étape consiste à identifier les risques ; elle ne réclame généralement pas de techniques sophistiquées. Les riziculteurs asiatiques font volontiers savoir quels sont leurs champs les plus exposés aux inondations. Les responsables des réservoirs d'eau savent combien il est difficile de gérer les impératifs concurrents de la distribution d'eau et d'électricité lorsque le niveau des eaux est faible. Enfin, les communautés savent quels individus et groupes sociaux sont les premiers touchés par les conditions météorologiques défavorables. L'étape suivante consiste à mesurer les risques. Il existe pour cela diverses méthodes qui varient selon la portée de l'évaluation des risques. Les communautés font appel à des techniques participatives simples, basées sur des indicateurs faciles à suivre (tels que le prix des cultures de base sur le marché durant les sécheresses), pour appliquer des mesures à l'échelon des ménages ou de la collectivité, ou elles utilisent une cartographie communautaire pour définir les zones inondables. L'évaluation des risques au niveau sectoriel (agriculture ou énergie hydroélectrique) ou au plan national exige généralement une analyse plus systématique et quantitative des données (cartographie des terres agricoles ou hydrologie régionale).

La compréhension des risques exige un investissement dans des capacités scientifiques, techniques et institutionnelles pour observer, enregistrer,

étudier, analyser, prévoir, modéliser et cartographier les risques et vulnérabilités naturels. Les systèmes d'information géographique permettent d'intégrer ces sources de données et constituent pour les décideurs un outil efficace de compréhension des risques — tant au niveau des administrations nationales qu'au plan local. De nombreux pays à revenu faible ou intermédiaire procèdent actuellement à des évaluations de risques et renforcent systématiquement leurs capacités pour mieux gérer les catastrophes ^b.

La réduction des risques demande la prise en compte systématique des risques dans le cadre stratégique global du développement, tâche plus importante que jamais compte tenu de la densification des populations et des infrastructures. Depuis la fin des années 90, on s'accorde de plus en plus à reconnaître la nécessité de traiter la question des risques naturels dans les cadres de développement stratégiques à moyen terme, la législation et les structures institutionnelles, les stratégies et politiques sectorielles, les processus budgétaires, les projets et les activités de suivi-évaluation. La prise en compte systématique des risques impose d'analyser comment les dangers potentiels peuvent avoir des effets sur les politiques, les programmes et les projets et vice-versa. Les projets de développement ne réduisent pas nécessairement la vulnérabilité aux risques naturels et peuvent involontairement créer de nouvelles fragilités ou aggraver des vulnérabilités existantes. Il convient donc de chercher expressément des solutions visant tout à la fois à promouvoir le développement, à réduire la pauvreté et à renforcer la capacité de résistance aux risques. Les efforts déployés pour réduire les risques de catastrophe doivent favoriser la résilience et aider les communautés à s'adapter à des risques nouveaux et accrus. Or, même cette adaptation ne peut être garantie. Ainsi, la construction de systèmes de défense contre les inondations conçus en fonction des probabilités établies à l'heure actuelle pourrait-elle aggraver les pertes futures en encourageant l'aménagement de zones

inondables où risquent de se produire des dégâts majeurs à l'avenir. Il faut donc intégrer les prévisions sur le changement climatique dans les prises de décisions actuelles comme dans la planification à long terme.

L'atténuation des risques suppose la mise en œuvre de mesures durant un phénomène naturel ou immédiatement après pour en réduire au minimum les effets. Grâce aux technologies de l'information et des communications, les systèmes d'alerte avancée et de surveillance peuvent annoncer les phénomènes extrêmes à l'avance. Pour que ces informations puissent sauver des vies, il faut cependant que les organismes de gestion des catastrophes disposent de mécanismes qui leur permettent de les recevoir et de les communiquer aux communautés bien avant que les phénomènes ne surviennent. Cela suppose une formation systématique en matière de préparation, le renforcement des capacités, des opérations de sensibilisation et la coordination des activités des entités nationales, régionales et locales. Il est tout aussi important de prendre rapidement des mesures bien ciblées après une catastrophe, y compris des mesures de protection sociale en faveur des plus vulnérables et la mise en œuvre d'une stratégie de redressement et de reconstruction.

Sources : L'équipe chargée de la rédaction du Rapport sur le développement dans le monde ; Ranger, Muir-Wood et Priya 2009 ; Organisation des Nations Unies 2007 ; Organisation des Nations Unies 2009 ; NRC 2006 ; Benson et Twigg 2007.

a. Ici, le terme atténuation désigne la prévention des pertes causées par les phénomènes météorologiques extrêmes en prenant des mesures à court terme, comme l'évacuation des habitants d'une plaine inondable, face à une menace immédiate.
b. Fonds mondial de prévention des catastrophes et de relèvement, www.gfdrr.org (consulté le 15 mai 2009) ; Prévention, www.proventionconsortium.org (consulté le 15 mai 2009).

ENCADRÉ 2.7 Les données satellitaires et les informations géographiques contribuent à la gestion des risques – et sont peu coûteuses

Les données satellitaires et la technologie de l'information géographique sont souvent disponibles gratuitement ou à un coût modéré, et les logiciels et outils nécessaires pour utiliser ces technologies fonctionnent sur des ordinateurs de bureau.

Les satellites permettent de mesurer l'humidité et la végétation et fournissent des informations précieuses aux services de vulgarisation agricole. Ils suivent la progression des tempêtes tropicales et alertent à l'avance les communautés côtières. En cartographiant les effets des inondations, ils facilitent les opérations de redressement et de reconstruction. Ils permettent de représenter les forêts

et la biomasse et de communiquer aux habitants autochtones des forêts des informations qui leur permettent d'agir. Les capteurs à haute résolution identifient la prolifération urbaine dans les zones dangereuses. Les instruments de positionnement géographique utilisés dans les relevés peuvent produire de nouvelles informations sur les relations entre les populations et l'environnement naturel. Les systèmes d'information géographique rationalisent la gestion des données, rendent l'information disponible en cas de besoin et fournissent un outil rentable et rapide permettant d'enrichir la base de connaissances de manière à guider les prises de décision et faciliter

la compréhension des risques là où les données et les connaissances sont actuellement limitées. L'utilisation de ces services et de cette technologie de façon généralisée et efficace dans les pays en développement ne nécessite pas de gros investissements matériels : elle demande essentiellement des investissements dans l'éducation supérieure, le renforcement des capacités institutionnelles, la mise en place de centres de recherche axés sur cette mission et la promotion de l'entreprise privée.

Sources : ESA 2002 ; NRC 2007a, 2007b.

De nombreux pays développés fournissent, à titre de service public, une cartographie détaillée des zones exposées aux inondations aux propriétaires, entreprises et autorités locales⁸⁰. En Chine, les pouvoirs publics dressent ce type de cartes depuis 1976 et publient une cartographie des zones exposées aux inondations qui délimite les zones à haut risque dans les bassins fluviaux les plus peuplés. Grâce à ces instruments, les habitants savent quand et comment ils doivent évacuer leur logement et où ils doivent se réfugier. Les cartes peuvent servir aussi à la planification de l'utilisation des sols et à la conception des bâtiments⁸¹. Mis à la disposition des communautés, ces services contribuent à promouvoir l'action au niveau local, comme à Bogota où un service d'information sur les risques dans les zones sismiques renforce la capacité de résistance des communautés⁸².

Comme il est impossible d'éliminer complètement les risques, la protection des populations exige que l'on soit prêt à affronter des événements climatiques extrêmes. Les systèmes d'alerte et les plans d'intervention (par exemple les systèmes d'évacuation d'urgence) permettent de sauver des vies et de prévenir des pertes. En faisant participer les communautés aux activités de préparation et les systèmes de communication d'urgence, on les aide à protéger leurs moyens d'existence. Au Mozambique, par exemple, les populations vivant le long de la rivière Búzi préviennent par radio les communautés situées en aval de l'imminence d'une inondation⁸³. Les efforts déployés à l'échelle locale peuvent atténuer les risques, créer des emplois et réduire la pauvreté même dans les communautés isolées (encadré 2.8). Au niveau national, il est crucial d'être financièrement prêt à fournir une aide immédiate aux communautés après une catastrophe pour leur éviter des pertes durables.

ENCADRÉ 2.8 Créer des emplois pour réduire les risques d'inondations

Les pluies torrentielles sont fréquentes au Libéria, mais les réseaux de drainage n'ont pas été entretenus pendant des décennies en raison de longues périodes d'incurie et de guerre civile. En conséquence, les inondations sont à l'origine de catastrophes récurrentes en milieu rural comme en milieu urbain. Le nettoyage des drains n'était pas une priorité pour les citoyens et les agents des services publics, car personne ne disposait des ressources nécessaires. Les autorités ont toutefois adhéré à un programme de travail rémunéré lorsqu'il a été proposé par Mercy Corps, une organisation non gouvernementale internationale. En septembre 2006, un projet d'un an visant à nettoyer et à remettre en état les réseaux de drainage a été lancé dans cinq comtés. Ces travaux ont sensiblement facilité l'écoulement des eaux de pluie et réduit les inondations ainsi que les risques sanitaires connexes. Le projet a également permis de remettre en état des puits et d'améliorer l'accès au marché en dégageant les routes et en construisant des ponts de petite taille.

Source : Mercy Corps 2008.

Gérer les risques financiers : des instruments souples pour les imprévus

Les politiques publiques mettent en place des cadres définissant clairement les rôles et les responsabilités du secteur public, du secteur privé, des ménages et des particuliers. Ces cadres reposent sur un ensemble de modes de gestion des risques modulée sur plusieurs niveaux de responsabilité. En cas de sécheresse modérée provoquant de faibles pertes de

ENCADRÉ 2.9 *Les partenariats public-privé et le partage des risques climatiques : l'assurance du bétail en Mongolie*

Le partage des risques par les communautés, les administrations et les entreprises est une composante importante de la gestion des risques climatiques. En Mongolie, les éleveurs, les autorités nationales et les compagnies d'assurance ont créé un mécanisme pour gérer les risques financiers liés aux froids rigoureux qui surviennent en hiver et au printemps (*dzuds*) et qui entraînent régulièrement une forte mortalité du cheptel. Ces conditions ont provoqué la mort de 17 % du bétail en 2002 (jusqu'à 100 % dans certaines zones), ce qui représente des pertes de 200 millions de dollars (soit 16 % du PIB).

En vertu du mécanisme, les éleveurs continuent d'assumer les pertes de faible ampleur qui ne compromettent pas la viabilité de leur entreprise ou de leur ménage ; ils s'arrangent souvent avec les membres de leur communauté pour se protéger contre ce type de revers. Les services d'assurance commerciale du bétail fournis par les assureurs mongols

couvrent les pertes plus importantes (10 à 30 %). Enfin, un programme d'assurance sociale géré par l'État prend en charge les pertes associées à une mortalité catastrophique du cheptel auxquelles ni les éleveurs ni les assureurs ne pourraient faire face. Ce dispositif à plusieurs niveaux définit clairement un cadre de protection composé d'un système d'autoassurance organisé par les éleveurs, de polices d'assurance commerciale et d'un mécanisme d'assurance sociale.

Une innovation importante est l'utilisation d'assurances indicielles par opposition aux assurances couvrant chaque troupeau, qui se sont révélées inefficaces car la vérification des pertes individuelles crée des risques moraux et engendre souvent des coûts prohibitifs. Avec le nouveau type d'assurance, les éleveurs sont dédommagés en fonction du taux de mortalité moyen du bétail dans leur district : il n'est pas nécessaire de procéder à des évaluations de pertes au niveau individuel. Ce système incite les assureurs

mongols à offrir des services d'assurance commerciale aux éleveurs — ce qu'ils étaient réticents à faire jusque-là. Tout le monde y trouve son compte. Les éleveurs peuvent s'assurer contre les pertes inévitables. Les assureurs peuvent développer leurs activités en milieu rural, contribuant ainsi à consolider les services financiers ruraux. En offrant un programme d'assurance sociale correctement structuré, l'État parvient à mieux gérer ses risques budgétaires. S'il est vrai que les catastrophes exposent l'État à des risques potentiellement élevés, ce dernier a dû prendre en charge, pour des raisons politiques, des risques encore plus importants dans le passé. Grâce à la couverture des phénomènes catastrophiques par l'État, les compagnies d'assurance commerciales, qui limitent leur couverture à des niveaux de mortalité modérés, peuvent proposer des tarifs abordables aux éleveurs.

Sources : Mahul et Skees 2007 ; Mearns 2004.

production agricole, un partage informel et communautaire des risques au sein de la population est suffisant – à moins que plusieurs sécheresses de faible ampleur ne se produisent à bref intervalle (voir chapitre 1). Lors d'une sécheresse plus grave – du type, par exemple, de celles qui se produisent tous les dix ans –, on peut utiliser des instruments de transfert de risque issus du secteur privé. Toutefois, dans les situations les plus critiques et les phénomènes de grande ampleur, l'État doit assumer la fonction d'assureur de dernier ressort. Il doit mettre en place un cadre d'action permettant aux communautés de s'aider elles-mêmes et au secteur privé de jouer un rôle actif et commercialement viable, tout en prenant les dispositions nécessaires pour couvrir ses passifs découlant de catastrophes.

Assurer une protection différenciée

L'utilisation et l'appui des mécanismes d'assurance a suscité beaucoup d'intérêt dans le contexte de l'adaptation⁸⁴. L'assurance peut offrir une protection contre les pertes liées aux phénomènes climatiques extrêmes et faciliter la gestion des coûts qui ne peuvent être couverts par l'aide internationale, les pouvoirs publics ou les citoyens⁸⁵. Des méthodes originales, telles que les microassurances et les

produits dérivés basés sur des indices météorologiques, ont été élaborées et testées sur le marché privé. Citons l'exemple du mécanisme de couverture des risques basé sur un indice météorologique qui permet de dédommager des centaines de milliers de petits exploitants agricoles indiens en cas de précipitations insuffisantes – ou celui du mécanisme d'assurance contre les risques de catastrophe dans les Caraïbes visant à fournir rapidement des liquidités aux autorités à la suite de catastrophes naturelles⁸⁶.

L'assurance, toutefois, n'est pas une panacée : elle n'est qu'un des éléments d'un cadre de gestion des risques de plus grande ampleur qui vise à réduire les risques (éviter les pertes évitables) et encourage les bonnes pratiques de gestion du risque (de la même façon que l'installation de systèmes d'alarme incendie permet aux propriétaires de logement de bénéficier d'une réduction de leur prime d'assurance). Si le climat évolue de façon prévisible (vers des conditions météorologiques plus chaudes et plus sèches, par exemple), l'assurance n'est pas viable. Elle l'est lorsque les impacts sont aléatoires et rares : elle aide les ménages, les entreprises et les pouvoirs publics à étaler les risques dans le temps (en payant des primes à intervalles réguliers plutôt qu'en couvrant les coûts en une seule fois) et dans l'espace (en partageant les

risques avec d'autres). Autrement dit, l'assurance n'élimine pas le risque, mais elle réduit la variance des pertes supportées par les participants à un pool d'assurance.

L'assurance contre les tempêtes, les inondations et les sécheresses, qu'elle soit fournie à l'État ou aux particuliers, est difficile à gérer. En général, le risque climatique se manifeste simultanément au niveau de régions entières ou de vastes groupes de population ; par exemple, les troupeaux de milliers d'éleveurs mongols ont été décimés en 2002, lorsqu'un été sec a été suivi d'un hiver très froid (encadré 2.9). Ces événements covariants sont caractéristiques de nombreux risques climatiques, ce qui les rend difficiles à assurer : les demandes d'indemnisation tendent à s'accumuler et nécessitent de grandes quantités de capitaux de réserve et des efforts considérables au plan administratif⁸⁷. C'est une des raisons pour lesquelles les risques climatiques majeurs sont rarement couverts par les assurances, en particulier dans les pays en développement. D'ailleurs, les établissements de microcrédit limitent souvent la part des prêts agricoles dans leur portefeuille par crainte que de graves problèmes météorologiques n'empêchent leurs clients d'honorer leurs obligations⁸⁸.

La fourniture de services financiers constitue depuis longtemps un défi dans le domaine du développement pour des raisons étrangères au changement climatique. L'accès aux produits d'assurance est généralement beaucoup plus limité dans les pays en développement qu'ailleurs (graphique 2.3), ce dont témoigne la pénétration généralement faible des services financiers dans les zones rurales. La Crop Insurance Corporation (société d'assurance des récoltes) des Philippines, par exemple, ne touche que 2 % environ des agriculteurs, essentiellement dans les zones les plus productives et les plus riches du pays⁸⁹. Il est difficile

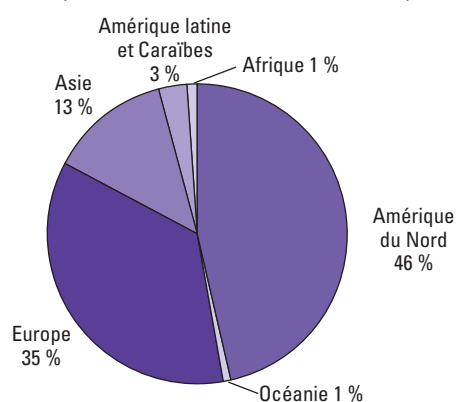
et risqué de proposer des services financiers aux populations rurales, car de nombreux ménages ruraux ne font pas partie de l'économie monétisée et sont très tributaires des conditions météorologiques. En milieu urbain, les populations sont plus concentrées, mais il est néanmoins difficile d'atteindre les pauvres dans le secteur informel de l'économie.

Le changement climatique pourrait rendre les risques liés au climat encore plus difficiles à assurer. Incontrôlé, il pourrait même rendre ces risques inassurables ou les primes d'assurance inabordables. Pour assurer un événement, il faut pouvoir identifier et quantifier (ou du moins estimer partiellement) sa probabilité et les pertes qu'il pourrait engendrer, fixer le montant des primes et diversifier le risque parmi les individus ou les collectivités⁹⁰. Lorsqu'elles sont réunies, ces trois conditions rendent l'assurance d'un risque possible, mais pas nécessairement rentable (comme le montre le faible rapport primes/demandes d'indemnisation de nombreux programmes d'assurance agricole), et les coûts de transaction de l'exécution d'un programme d'assurance peuvent être considérables⁹¹. Les incertitudes créées par le changement climatique brouillent les calculs actuariels qui sous-tendent le marché de l'assurance⁹². De surcroît, il deviendra plus difficile de diversifier les risques lorsque le changement climatique aura des effets plus concomitants, plus répandus et plus systémiques au plan mondial et régional – effets difficiles à compenser dans d'autres régions ou sur d'autres segments du marché.

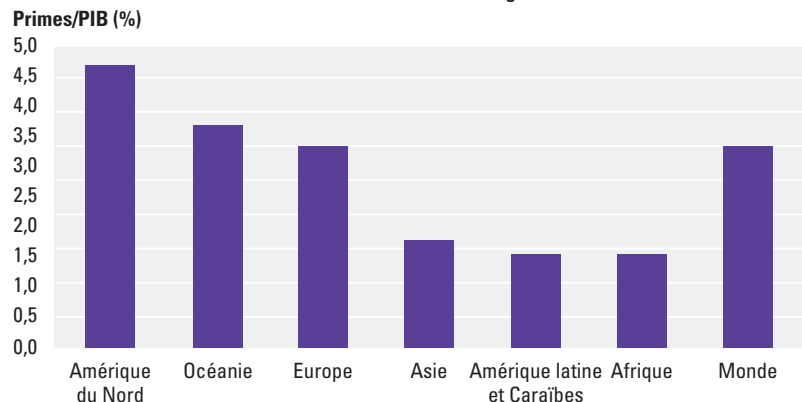
La diminution de l'assurabilité basée sur le marché suppose un recours important à l'État comme assureur de dernier recours, un rôle que de nombreuses administrations publiques jouent implicitement. En la matière, toutefois, le bilan de nombreux États n'est pas optimal, tant dans les pays

Graphique 2.3 Les services d'assurance sont limités dans les pays en développement

Volume des primes d'assurances-dommages en 2006 (volume total = 1 500 milliards de dollars)



Pénétration de l'assurance-dommages en 2006



Source : Swiss Re, 2007.

Note : l'assurance est avant tout une activité de pays développés, comme l'indiquent la répartition régionale des primes (à gauche) et les taux de pénétration (primes en pourcentage du PIB) de l'assurance-dommages (à droite). L'assurance-dommages comprend l'assurance des biens, l'assurance risques divers, l'assurance responsabilité civile (appelée aussi assurance générale), l'assurance maladie et des produits d'assurance qui ne font pas partie de l'assurance-vie.

en développement que dans le monde développé. En 2005, par exemple, l'ouragan Katrina a mis le programme américain d'assurance contre les inondations en faillite, celui-ci ayant reçu en un an plus de demandes d'indemnisation que durant ses 37 années d'existence, et pour un montant dix fois supérieur à ses ressources. Par ailleurs, peu de programmes publics d'assurance des récoltes sont financièrement viables sans subventions importantes⁹³. Dans le même temps, si l'ampleur des pertes liées aux récentes catastrophes est une indication de l'assurabilité des pertes qu'entraînera le changement climatique à l'avenir, le secteur public devra sans doute jouer un rôle plus formel pour absorber les dommages que le secteur privé ne sera pas en mesure de couvrir⁹⁴.

L'assurance n'est pas une panacée en matière d'adaptation aux risques climatiques et ne constitue qu'une stratégie parmi d'autres dans la lutte contre *certain*s effets du changement climatique. Elle ne convient généralement pas à des impacts irréversibles et à long terme tels que la hausse du niveau de la mer et la désertification – des phénomènes qui infligeraient des pertes massives aux assureurs et ne seraient donc pas assurables. Il convient aussi d'examiner la question de l'assurance dans le cadre d'une stratégie globale d'adaptation et de gestion du risque, qui inclurait une réglementation rigoureuse de l'utilisation des sols et des normes de construction robustes, afin de prévenir les comportements néfastes – ou une mauvaise adaptation (la poursuite des constructions sur une côte exposée aux tempêtes, par exemple) – que pourrait encourager le sentiment de sécurité procuré par un contrat d'assurance⁹⁵.

S'assurer que l'État dispose de suffisamment de liquidités

La planification financière permet aux pouvoirs publics de se préparer aux conséquences des catastrophes climatiques et d'assurer le maintien des services essentiels immédiatement après de tels événements⁹⁶. Des mécanismes financiers préétablis – tels que les fonds de réserve pour les situations de catastrophe, les lignes de crédit conditionnelles et les obligations catastrophes – permettent aux autorités publiques de réagir rapidement, de renforcer les programmes de protection sociale et d'éviter les pertes à long terme qu'accumulent les ménages et les communautés lorsque les populations se trouvent sans abri, sans travail et dans un dénuement total⁹⁷. La disponibilité immédiate de fonds pour lancer le processus de remise en état et de redressement permet de limiter les effets dévastateurs des catastrophes sur le développement.

D'un point de vue financier, de nombreux petits pays sont particulièrement vulnérables aux catastrophes en raison de la disproportion entre l'ampleur de leurs pertes et la taille de leur économie (carte 2.5) ; en 2004, par exemple, l'ouragan Ivan a causé à la Grenade des dégâts dont le montant a atteint plus de 200 % du PIB du pays⁹⁸. L'aide extérieure n'étant pas toujours immédiatement disponible, 16 pays des Caraïbes ont créé un mécanisme financier de gestion des risques solidement structuré afin de rationaliser le financement des interventions d'urgence et de réduire autant que possible les interruptions de services. Mis en place en 2007, ce mécanisme permet de fournir rapidement des liquidités aux autorités des pays touchés par des ouragans et des tremblements

ENCADRÉ 2.10 *Le Mécanisme d'assurance contre les risques liés aux catastrophes dans les Caraïbes : l'assurance contre l'interruption des services après des catastrophes.*

Parmi les nombreux défis auxquels sont confrontés les pouvoirs publics des petits États insulaires au lendemain de catastrophes naturelles, le plus pressant consiste à obtenir des liquidités pour financer d'urgentes mesures de redressement et assurer le fonctionnement des services publics essentiels. Ce problème se pose d'une manière particulièrement aiguë dans les pays des Caraïbes, dont la capacité de résistance économique est limitée par une vulnérabilité croissante et un endettement élevé.

Le nouveau Mécanisme d'assurance contre les risques liés aux catastrophes dans les Caraïbes fournit aux gouvernements de la région un instrument d'assurance

similaire à une assurance contre les pertes d'exploitation. Il leur permet de disposer de liquidités à court terme en cas de pertes catastrophiques dues à un ouragan ou un tremblement de terre.

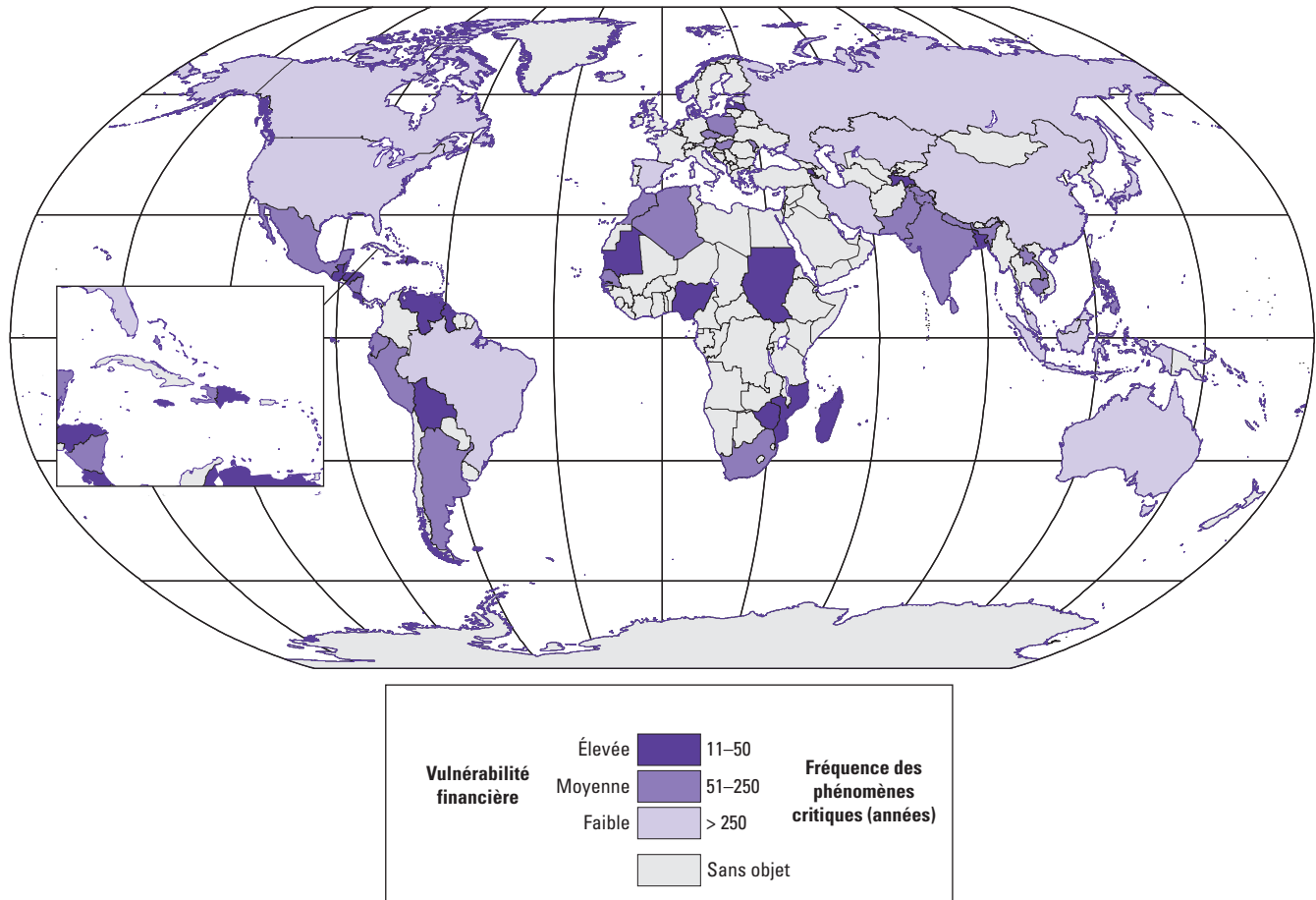
Il existe certes une large gamme d'instruments visant à financer le redressement à long terme, mais le Mécanisme pallie une lacune en finançant les besoins à court terme grâce à une assurance paramétrique. Il décaisse des fonds lorsque se produit un phénomène prédéfini d'une intensité donnée, sans qu'il faille attendre l'évaluation des dégâts sur le terrain, ni une confirmation officielle. En général, ce type d'assurance est relativement peu coûteux et permet de régler rapidement les demandes

d'indemnisation, car l'évaluation de la force des phénomènes naturels se fait de façon presque instantanée. Le Mécanisme permet aux pays participants de regrouper leurs risques dans un portefeuille diversifié et d'accéder plus facilement au marché de la réassurance, ce qui permet d'étaler davantage les risques en dehors de la région.

Les mécanismes d'assurance de ce type doivent s'inscrire dans une stratégie financière globale recourant à plusieurs sortes d'instruments pour couvrir divers types d'évènements et de probabilités.

Sources : Ghesquiere, Jamin et Mahul 2006 ; Banque mondiale 2008e.

Carte 2.5 Les pays petits et pauvres sont financièrement vulnérables aux phénomènes météorologiques extrêmes



Source : Mechler et al. 2009.

Note : La carte indique le degré de vulnérabilité financière des pays aux inondations et aux tempêtes. Dans les pays en violet foncé, par exemple, un phénomène météorologique extrême dont les effets seraient tels que le secteur public n'aurait pas la capacité financière de remettre les infrastructures endommagées en état et de poursuivre les activités de développement comme prévu est attendu environ une fois tous les 11 à 50 ans (soit une probabilité annuelle de 2 à 10 %). La vulnérabilité financière élevée des petites économies souligne la nécessité d'adopter des plans d'intervention d'urgence susceptibles de renforcer la capacité de résistance des États aux catastrophes futures. L'analyse porte uniquement sur les 74 pays les plus exposés aux catastrophes qui ont subi des pertes directes équivalant à au moins 1 % de leur PIB à la suite d'inondations, de tempêtes et de sécheresses au cours des 30 dernières années.

de terre destructeurs en recourant de façon innovante au marché international de la réassurance pour diversifier et compenser le risque au plan mondial (encadré 2.10).

Même les économies pauvres peuvent gérer les risques climatiques plus efficacement grâce à l'information, aux marchés, à une planification de qualité et à l'assistance technique. En scellant des partenariats avec les assureurs et les institutions financières internationales, les pouvoirs publics peuvent inciter le secteur privé à surmonter sa réticence à engager des capitaux et des compétences sur les marchés à faible revenu. En 2008, le Malawi a innové en lançant un contrat de gestion des risques météorologiques pour se protéger contre les sécheresses qui nuisent à la production de maïs – sécheresses qui sont souvent source d'insécurité alimentaire et provoquent une forte instabilité des prix régionaux des produits de base. En contrepartie du

versement d'une prime, une société internationale de réassurance s'est engagée à verser un montant convenu à l'État en cas de graves sécheresses, prédéfinies et mesurées par les services météorologiques du Malawi. La Trésorerie de la Banque mondiale a fait office d'intermédiaire de confiance entre le pays et le marché, et contribué ainsi à renforcer la confiance de part et d'autre. Les paiements et les paramètres de sécheresse ayant été fixés à l'avance, les décaissements au titre de cet instrument financier peuvent être effectués rapidement et les pouvoirs publics peuvent acheter à terme du maïs sur les marchés régionaux de produits de base pour assurer l'approvisionnement alimentaire dans les meilleurs délais et avant que la sécheresse ne touche les populations les plus vulnérables ; le coût des mesures d'intervention et la dépendance à l'égard de l'aide internationale en sont sensiblement réduits⁹⁹.

Pour que ces initiatives soient durables et d'un coût abordable, il convient d'encourager systématiquement l'atténuation des risques de catastrophe de sorte que l'État utilise le moins possible ces mécanismes financiers en cas de pertes ordinaires. Le financement conditionnel comprend des coûts d'opportunité et devrait couvrir uniquement les besoins de financement publics les plus urgents et les pertes les plus graves. Les services de vulgarisation agricole, l'application des normes de construction et les plans stratégiques d'aménagement urbain sont quelques-uns des domaines où l'action publique peut limiter les conséquences évitables et réduire la probabilité des cas de figure extrêmes. Les systèmes d'alerte avancée qui permettent d'éviter la perte de vies humaines et des dégâts économiques jouent un rôle tout aussi important. Ces systèmes, appuyés par l'État, peuvent avoir des effets spectaculaires, comme au Bangladesh, où ils ont réduit le nombre des décès imputables aux inondations et aux tempêtes, et par conséquent les pertes que doivent assumer les pouvoirs publics¹⁰⁰.

Gérer les risques sociaux : donner aux communautés les moyens de se protéger elles-mêmes

Le changement climatique ne touche pas tout le monde de façon uniforme¹⁰¹. Dans les populations pauvres, des tensions climatiques modérées peuvent provoquer des pertes irréversibles en capital humain et physique¹⁰². Les effets subis par les enfants peuvent être durables et affecter les revenus à l'échelle d'une vie à travers l'éducation (abandon de la scolarité à la suite d'un choc), la santé (les effets exacerbants du manque d'installations d'assainissement et des maladies hydriques ou à transmission vectorielle) et les retards de croissance¹⁰³. Les femmes des pays en développement souffrent des effets du climat de façon disproportionnée, car bon nombre de leurs tâches ménagères (la cueillette de produits sauvages et leur vente, par exemple) sont sujettes aux aléas météorologiques¹⁰⁴. Les ménages et les communautés s'adaptent par le choix de leurs moyens d'existence, de l'affectation de leurs actifs et de leur lieu de résidence, souvent en basant leurs décisions sur des savoirs traditionnels¹⁰⁵. Les gens sont plus disposés et aptes à changer s'ils bénéficient de systèmes d'aide sociale qui associent le partage communautaire, l'assurance sociale publique (les retraites, par exemple), les services financiers et les services d'assurance privés, et les filets de sécurité publics.

Aider les communautés à s'adapter

Il est important pour deux raisons de mettre à profit les savoirs traditionnels dans la gestion des risques climatiques¹⁰⁶. Premièrement, de nombreuses communautés – notamment les peuples autochtones – possèdent déjà des connaissances et des stratégies adaptées à leur environnement pour faire face aux risques climatiques. Les efforts

déployés pour conjuguer le développement et l'adaptation au changement climatique en faveur des communautés vulnérables peuvent s'inspirer des méthodes traditionnelles utilisées par les populations pour faire face aux risques environnementaux : il en est ainsi des communautés africaines qui se sont adaptées à des périodes de sécheresse prolongées¹⁰⁷. Toutefois, les mécanismes d'ajustement et stratégies d'adaptation traditionnels peuvent préparer les communautés à affronter certains risques perçus, mais pas les risques incertains et potentiellement différents engendrés par le changement climatique¹⁰⁸. Il se peut que les communautés soient accoutumées à leurs conditions climatiques actuelles, mais moins en mesure de s'adapter aux changements climatiques à venir¹⁰⁹. Deuxièmement, en raison du caractère local de l'adaptation, les politiques globales reposant sur une formule unique ne permettront pas de répondre aux besoins de différentes zones urbaines et localités rurales¹¹⁰.

Les principes qui sous-tendent la capacité de résistance des populations – la capacité à préserver les fonctions essentielles, à s'organiser de façon autonome et à tirer les leçons du changement – sont mis en évidence dans le monde entier¹¹¹. Dans les régions côtières du Viet Nam, les ondes de tempête et l'élévation du niveau de la mer exercent déjà des pressions sur les mécanismes d'ajustement. Suite à la réduction de nombreux services publics à la fin des années 90, les processus décisionnels collectifs locaux et les réseaux de crédit et d'échange ont remplacé la planification et les infrastructures de l'État par le capital et l'apprentissage sociaux (ces dernières années, toutefois, l'État a reconnu qu'il devait appuyer la capacité de résistance des communautés et le développement de l'infrastructure ; il s'efforce maintenant de promouvoir un vaste programme de gestion des risques liés aux catastrophes naturelles)¹¹².

Dans l'Arctique de l'Ouest, les Inuits, confrontés à la fonte de la glace marine et à la répartition changeante de la faune, ont ajusté le calendrier de leurs activités de subsistance et chassent un plus large éventail d'espèces. Par le partage de la nourriture, l'intensification des échanges entre eux et la création de nouveaux organismes locaux, ils renforcent la résistance de leurs communautés¹¹³. De même, les communautés autochtones des pays en développement s'adaptent au changement climatique – par exemple grâce à la collecte de l'eau de pluie, à la diversification des cultures et des moyens de subsistance, et à l'ajustement des migrations saisonnières – pour atténuer les effets négatifs et tirer parti des nouvelles possibilités¹¹⁴.

En général, les communautés locales connaissent mieux que d'autres les dangers climatiques locaux, y compris le moment et l'endroit où ils risquent de se concrétiser, et la manière dont ils influent sur leurs actifs et leurs activités de production. Ces communautés, en outre, sont mieux à même de gérer les liens sociaux et écologiques qui seront

marqués par le changement climatique. Enfin, elles exécutent généralement les projets de développement et de protection de l'environnement à un coût moindre que les intervenants extérieurs (graphique 2.4). Un examen récent de plus de 11 000 pêcheries a montré qu'il est possible de réduire considérablement la probabilité d'un effondrement des réserves de poissons en cessant de s'en tenir à des quotas de pêche globaux et en adoptant des quotas individuels transférables appliqués au plan local¹¹⁵. La participation active des communautés locales et des principaux intéressés à la cogestion des ressources halieutiques est essentielle à la réussite du système¹¹⁶.

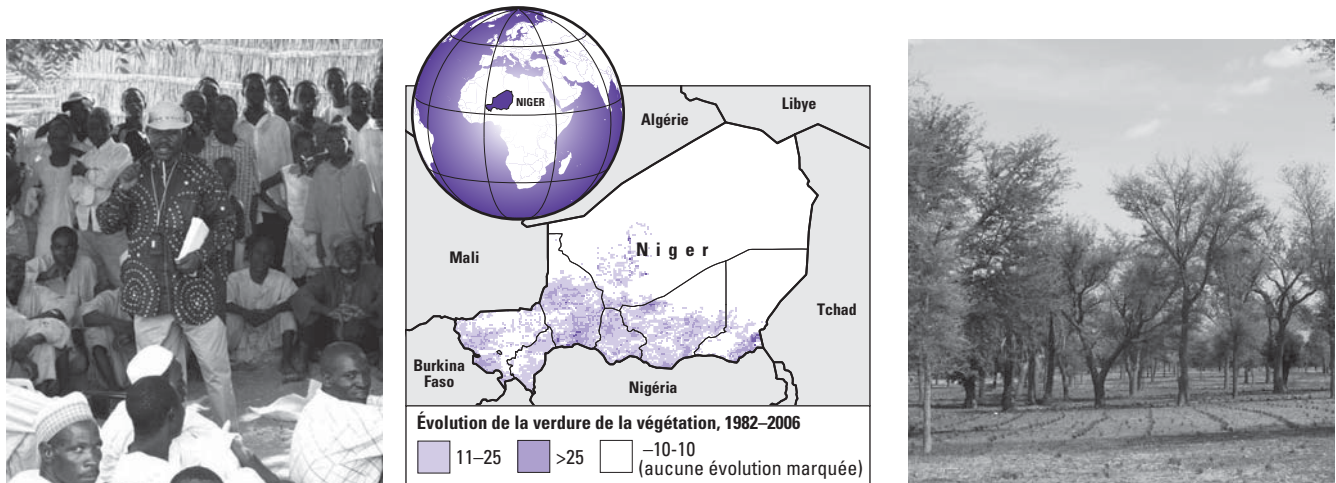
En plus d'améliorer la résistance, la gestion décentralisée des ressources peut avoir des effets synergiques en matière d'atténuation et d'adaptation. Par exemple, la gestion du patrimoine forestier¹¹⁷ des régions tropicales a eu des effets positifs simultanément sur les conditions de vie (adaptation) et le stockage du carbone (atténuation) lorsque les communautés locales étaient propriétaires de leurs forêts, disposaient d'une grande autonomie décisionnelle et pouvaient gérer de vastes zones forestières. Dans de nombreux pays, la décentralisation de la gestion des forêts sur la base du principe des ressources communes a donné aux populations locales la possibilité de gérer les forêts, d'utiliser leurs connaissances temporelles et spatiales des questions forestières pour créer des règles et des institutions appropriées, et d'œuvrer avec les organismes publics à l'application des règles qu'elles ont élaborées¹¹⁸. Le renforcement des droits

fonciers des peuples autochtones et la promotion de leur rôle dans les activités de gestion se sont traduits par une gestion plus viable et plus rentable des ressources forestières et de la biodiversité, par exemple au Mexique et au Brésil¹¹⁹.

Les mesures d'adaptation efficaces prises au niveau communautaire s'appuient sur l'apprentissage social, à savoir le processus consistant à échanger des connaissances au sujet d'expériences vécues, et à les intégrer à des données techniques et scientifiques¹²⁰. Lorsque les gens migrent entre des zones urbaines et rurales à la recherche d'emplois saisonniers ou à la suite de catastrophes naturelles, leurs mouvements migratoires imitent les déplacements antérieurs de leurs parents et amis¹²¹. Lorsque les individus adoptent de nouvelles technologies ou modifient les systèmes de culture, leurs décisions dépendent de la circulation de l'information au sein de réseaux sociaux¹²². Lorsqu'ils choisissent d'autres domaines dans lesquels améliorer leurs compétences et leur éducation, leurs décisions sont liées à celles de leurs pairs¹²³.

L'apprentissage social communautaire et basé sur l'expérience a été l'un des principaux moyens utilisés dans le passé pour affronter les risques climatiques, mais il pourrait se révéler insuffisant face au changement climatique. En conséquence, les stratégies d'adaptation axées sur les communautés doivent trouver un juste équilibre entre les atouts de ces collectivités (capacités et connaissances locales importantes, réserves potentielles de capital social, faibles coûts) et leurs lacunes (connaissances scientifiques limitées, marge d'action étroite).

Graphique 2.4 Faire reculer le désert grâce aux savoirs des populations autochtones, à l'action des agriculteurs et à l'apprentissage social



Sources : WRI *et al.* 2008 ; Botoni et Reij 2009 ; Herrmann, Anyamba et Tucker 2005.

Note : Au Niger, les agriculteurs ont fait reculer le désert : des zones qui avaient perdu leur végétation durant les années 80 sont maintenant revêtues d'une couverture dense d'arbres, de buissons et de cultures. Cette transformation, tellement vaste qu'elle est observée par les satellites, concerne 5 millions d'hectares de terrain (environ la superficie du Costa Rica), soit presque la moitié des terres cultivées du Niger. Les nouvelles opportunités économiques nées du reverdissement ont profité à des millions de personnes sous la forme d'une sécurité alimentaire accrue et d'une plus grande résistance à la sécheresse. La clé de cette réussite réside dans une technique peu coûteuse – le renouvellement naturel géré par les agriculteurs – qui reprend, en l'adaptant, une méthode séculaire de gestion des espaces boisés. Après avoir constaté les premiers résultats de la réintroduction de cette technique autochtone dans les années 80, les agriculteurs ont pris conscience de ses avantages et les ont fait connaître autour d'eux. Les bailleurs de fonds ont renforcé l'effet d'apprentissage social en finançant des voyages d'études au profit des cultivateurs et en facilitant les échanges entre eux. L'administration centrale a joué un rôle essentiel en procédant à une réforme du régime foncier et de la politique forestière.

De nombreuses activités communautaires d'adaptation sont appuyées par un large éventail d'ONG et autres intermédiaires, mais une infime minorité de populations menacées en bénéficie. Il est urgent de reproduire leurs bons résultats à une échelle beaucoup plus grande. L'intensification de ces efforts a souvent été freinée par la mauvaise qualité des relations – voire les tensions – entre les parties prenantes locales et les institutions publiques. Les problèmes de pouvoirs, de responsabilités et de financement entravent souvent les efforts de coopération. Pour que l'expansion des initiatives de développement communautaires réussisse, il faut que les promoteurs de ces opérations et les pouvoirs publics prévoient la suite du projet et élaborent des processus de transformation ou de transition afin d'éviter l'interruption brutale des projets faute de financements. La capacité d'agir – essentielle à la réussite des efforts engagés – implique la motivation et l'engagement, qui, à leur tour, supposent des incitations adéquates à tous les niveaux¹²⁴. Le nouveau Fonds d'adaptation peut sensiblement appuyer l'expansion des opérations puisqu'il devrait gérer des ressources de l'ordre de 0,5 milliard de dollars à 1,2 milliard de dollars d'ici à 2012 et soutenir directement les administrations publiques à tous les échelons, ainsi que les ONG et d'autres organismes intermédiaires¹²⁵.

Fournir une protection sociale aux populations les plus vulnérables

Le changement climatique amplifiera les vulnérabilités et exposera un plus grand nombre d'êtres humains aux risques climatiques, plus fréquemment et sur des périodes plus longues. Il faudra donc mettre en place des politiques sociales pour venir en aide aux groupes dont les moyens de subsistance risquent de diminuer progressivement sous l'effet du changement climatique. Les phénomènes extrêmes pourraient aussi avoir des effets directs sur les ménages et nécessiter la mise en place de filets de sécurité (aide sociale) pour prévenir la ruine économique des populations les plus vulnérables. Les épisodes prolongés de tensions climatiques (telles que les sécheresses) peuvent favoriser la hausse et la volatilité des prix des produits de base, pénalisant ainsi de façon disproportionnée les populations pauvres et vulnérables, comme ce fut le cas durant la crise alimentaire de 2008¹²⁶. Le renchérissement des denrées alimentaires accentue la pauvreté de ceux qui doivent acheter de la nourriture pour subvenir aux besoins de leur famille, exacerbe les problèmes de nutrition, réduit l'utilisation des services de santé et d'éducation et épuise les actifs productifs des pauvres¹²⁷. Dans certaines parties du monde en développement, l'insécurité alimentaire et les fluctuations des prix des aliments constituent déjà une source systémique de risques qui devrait s'accroître sous l'effet du changement climatique¹²⁸.

Les chocs climatiques présentent deux caractéristiques majeures. Premièrement, on ignore qui exactement en sera la victime et à quel endroit. Bien souvent, on ne découvre l'identité des populations concernées que lorsque la crise est déjà à un stade avancé, c'est-à-dire lorsqu'il est difficile de déclencher une riposte rapide et efficace. Deuxièmement, on ne peut savoir à l'avance quand interviendront les chocs éventuels. Ces deux caractéristiques ont une incidence sur la conceptualisation et la conception des politiques sociales qui permettront de faire face aux menaces climatiques futures. Il convient de concevoir la protection sociale comme un système, plutôt que comme un ensemble d'interventions isolées, et de la mettre en place durant les périodes de prospérité. Il faut assortir les filets de sécurité de financements souples et de cibles conditionnelles pour les renforcer au moment où l'on voudra réagir efficacement aux chocs épisodiques¹²⁹.

Une vaste gamme de filets de sécurité dispense une aide financière ou en nature aux ménages pauvres pour atténuer les vulnérabilités chroniques¹³⁰. S'ils sont utilisés de façon efficace, ces instruments ont des effets immédiats sur la réduction des inégalités et permettent d'aborder de façon optimale la question de l'impact de la hausse des prix des produits de base sur la pauvreté ; ils permettent aux ménages d'investir dans leurs moyens de subsistance futurs et de gérer les risques en réduisant le recours aux stratégies d'adaptation négatives (telles que la vente de bétail durant les sécheresses). Il est possible de concevoir les filets de sécurité de manière à encourager les ménages à investir dans diverses formes de capital humain (éducation, formation, nutrition) susceptibles de renforcer leur résistance à long terme.

Face aux chocs, les filets de sécurité peuvent avoir une fonction d'assurance s'ils sont souples et s'ils peuvent être développés à une plus grande échelle. Ils sont souvent échelonnés, la priorité passant de la fourniture immédiate de produits alimentaires, de services d'assainissement et d'activités de nettoyage aux travaux de redressement, de reconstruction et, éventuellement, de prévention et d'atténuation des catastrophes. Pour remplir une fonction d'assurance, les filets de sécurité doivent s'appuyer sur un budget anti-cyclique et évolutif et être assortis de critères de ciblage permettant d'identifier les personnes dont les besoins sont temporaires ; ils doivent être mis en œuvre avec souplesse de manière à permettre une intervention rapide après un choc ; enfin, ils doivent être régis par un système de responsabilités et de procédures administratives fondamentales convenu bien avant la catastrophe¹³¹. Les alertes avancées publiées par le biais de prévisions et bulletins saisonniers peuvent mobiliser les filets de sécurité à l'avance et faciliter la mise en place de la logistique et des livraisons de produits alimentaires¹³².

Les filets de sécurité devront être considérablement renforcés lorsqu'ils existent ou mis en place lorsqu'ils font

défaut. De nombreux pays à faible revenu n'ont pas les moyens d'effectuer des transferts permanents au profit de leurs populations pauvres, mais des filets de sécurité évolutifs qui fournissent une assurance non contributive de base peuvent constituer une forme de protection sociale essentielle, capable de prévenir des décès et des pertes d'actifs excessives, même dans les pays pauvres où ces systèmes n'ont pas été souvent utilisés¹³³.

Par exemple, le dispositif éthiopien de « filet de sécurité productif » associe une aide sociale permanente (un programme d'allocation conditionnelle à long terme destiné à 6 millions de foyers souffrant d'insécurité alimentaire) à des filets de sécurité évolutifs qui peuvent être rapidement étendus à des millions de familles pauvres, de manière temporaire, lors d'une importante sécheresse. Une innovation importante est l'utilisation d'indices basés sur des événements météorologiques observés pour fournir une assistance plus facilement ajustable et mieux ciblée aux zones qui souffrent d'insécurité alimentaire, ainsi que le recours à des mécanismes basés sur l'assurance permettant d'accéder à des financements conditionnels¹³⁴.

Les programmes d'allocation conditionnelle peuvent être une composante des interventions en matière de protection sociale¹³⁵. Il s'agit de travaux publics à haute intensité de main-d'œuvre qui fournissent un revenu aux populations ciblées tout en assurant la construction ou l'entretien d'infrastructures. Ces programmes se concentrent sur des actifs et des activités produisant d'importants résultats susceptibles d'accroître la résistance des commu-

nautés : stockage d'eau, systèmes d'irrigation et construction de remblais. Pour être pleinement efficaces, cependant, ces programmes doivent être assortis d'objectifs clairs, être composés de projets adéquats et bien conçus, disposer de financements prévisibles, bénéficier de l'appui de spécialistes en matière de sélection et d'exécution, et être accompagnés de mécanismes de suivi et d'évaluation crédibles (encadré 2.11).

Les filets de sécurité peuvent aussi favoriser la réforme des politiques énergétiques. Le relèvement des prix des combustibles améliore l'efficacité énergétique, engendre des gains économiques et permet de dégager des économies budgétaires, mais comporte aussi des risques politiques et sociaux importants. Les filets de protection sociale peuvent prémunir les pauvres contre la hausse des prix énergétiques et faciliter la suppression de vastes subventions énergétiques, coûteuses, régressives et néfastes sur le plan climatique (voir chapitre 1)¹³⁶. Les subventions énergétiques – fréquemment utilisées pour compenser le renchérissement des combustibles – sont souvent inefficaces et mal ciblées, mais aussi difficiles à éliminer. Plusieurs pays à revenu intermédiaire (Brésil, Chine, Colombie, Inde, Indonésie, Malaisie et Turquie) ont eu récemment recours à des filets de sécurité pour faciliter la suppression de subventions aux combustibles fossiles¹³⁷. Il convient de bien cibler les transferts monétaires qui font suite à l'élimination des subventions, afin que les pauvres soient correctement indemnisés. La réforme entreprise en Indonésie a montré que, même avec un ciblage très imparfait, les catégories de population appartenant aux trois

ENCADRÉ 2.11 Inde : le système d'allocation conditionnelle dans le cadre de la loi nationale sur la garantie de l'emploi en zone rurale

Au fil des ans, l'Inde a mis au point un programme de garantie de l'emploi inspiré de la réussite d'un programme similaire dans l'État du Maharashtra. Le programme garantit à chaque ménage qui en fait la demande, selon un système d'autosélection, un emploi pour une durée maximale de cent jours rémunéré au salaire minimum légal. Les ménages ne sont pas tenus de faire la preuve de leurs besoins et des salaires sont parfois versés même s'il n'est pas possible de fournir du travail aux intéressés.

Le programme prévoit l'attribution d'un tiers au moins des emplois aux femmes, ainsi que des services de garde d'enfants sur le lieu de travail et une assurance médicale couvrant les accidents du travail ; les emplois doivent être fournis rapidement et, dans la mesure du possible,

se situer dans un rayon de cinq kilomètres du lieu de résidence du ménage. Le système est transparent : les listes d'emplois et d'entrepreneurs sont publiées sur le site Internet du programme de sorte que le public puisse exercer un droit de regard et contrôler ainsi les risques de corruption et les problèmes d'inefficacité. Depuis le lancement du programme en 2005, 45 millions de ménages ont effectué 2 milliards de journées de travail et 3 millions de tâches^a.

S'il bénéficie de conseils pertinents, le programme peut appuyer une politique de développement intelligente sur le plan climatique. Il fonctionne à l'échelle requise et peut diriger un volume d'emplois important vers des travaux d'adaptation appropriés dans des domaines tels que la conservation des eaux, la protection

des bassins versants et les plantations. Il finance les outils et autres éléments nécessaires à la réalisation des activités et une aide technique à l'appui de la conception et de l'exécution des projets. Il peut ainsi devenir une composante essentielle du développement des villages par le biais de la création et de l'entretien d'actifs productifs et adaptés aux changements climatiques^b.

Sources :

a. *National Rural Employment Guarantee Act (loi nationale sur la garantie de l'emploi en zone rurale) – 2005*, <http://nrega.nic.in/> (consulté en mai 2009).

b. *CSE India*, http://www.cseindia.org/programme/nrml/update_january08.htm (consulté le 15 mai) ; CSE 2007.

ENCADRÉ 2.12 *Les migrations aujourd’hui*

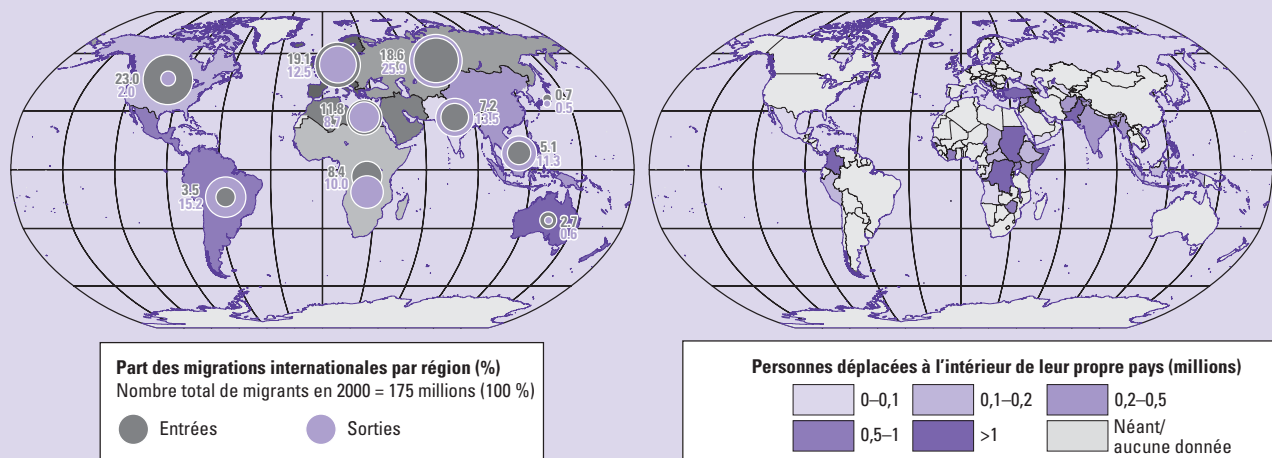
Les estimations relatives aux migrations provoquées par le changement climatique sont très incertaines et ambiguës. À court terme, les pressions climatiques accentueront progressivement les parcours migratoires existants (carte de gauche) plutôt que d’en créer de nouveaux. La plupart des migrants se déplacent à l’intérieur de leur propre pays. Ainsi, la Chine, à elle seule, compte presque autant de migrants internes (environ 130 millions) qu’il y a de migrants internationaux dans le monde entier (leur nombre était estimé à 175 millions en 2000). La majeure partie des migrants internes sont des migrants économiques, qui quittent les campagnes pour les villes. Les migrations d’une zone rurale à l’autre représentent aussi un phénomène important, quoique mal estimé ; elles lissent le rapport entre l’offre et la demande sur le marché du travail en zone rurale et constituent une étape de la migration des migrants ruraux. Les migrations internationales se produisent avant tout dans le monde développé : environ les deux tiers des migrants internationaux se déplacent d’un pays développé à l’autre. L’augmentation des nouvelles arrivées est plus forte dans les pays développés que dans les pays en développement, et la moitié

environ des migrants internationaux sont des femmes. La moitié de ces mêmes migrants viennent de 20 pays et moins de 10 % sont contraints de franchir une frontière internationale pour fuir les persécutions (définition d’un réfugié). Beaucoup de migrants forcés, en revanche, appartiennent à la catégorie des personnes déplacées à l’intérieur de leur propre pays (carte de droite) : on estime leur nombre à 26 millions dans le monde. Les itinéraires et intermédiaires utilisés par les migrants fuyant les guerres, les conflits ethniques et les violations des droits de l’homme sont de plus en plus souvent les mêmes que ceux auxquels ont recourus les migrants économiques. Les statistiques internationales disponibles ne permettent pas d’attribuer spécifiquement les déplacements à l’intérieur des pays à la dégradation de l’environnement ou aux catastrophes naturelles, mais la majeure partie des migrations forcées liées au changement climatique continueront probablement d’avoir lieu au sein des pays et des régions. Les flux migratoires se produisent non pas de façon aléatoire, mais selon des schémas : ils se concentrent dans les endroits où les migrants existants ont prouvé qu’il était possible de s’établir et où ils peuvent aider les futurs migrants à

surmonter les obstacles aux déplacements. Les schémas migratoires s’expliquent largement par ces obstacles et les conditions à remplir pour les surmonter. Une partie de ces contraintes sont de nature financière : les migrants doivent couvrir les frais de transport, de logement (à l’arrivée) et de subsistance tout en cherchant de nouvelles sources de revenu. Les observations révèlent l’existence d’une « bosse » dans les flux migratoires : le taux de migration d’une communauté augmente lorsque les revenus progressent au-delà du niveau nécessaire à la satisfaction des besoins de subsistance, puis décroît lorsque l’écart entre les revenus obtenus sur le lieu d’origine et le lieu de destination principal se réduit. Cette « bosse migratoire » explique pourquoi les plus démunis ne migrent pas ou migrent sur de très courtes distances.

Sources : Tuñón 2006 ; Banque mondiale 2008f ; Organisation des Nations Unies 2005 ; Organisation des Nations Unies 2006 ; Migration DRC 2007 ; de Haas 2008 ; Lucas 2006 ; Sorensen, van Hear et Engberg-Pedersen 2003 ; Amin 1995 ; Lucas 2006 ; Lucas 2005 ; Massey et Espana 1987 ; de Haan 2002 ; Kolmannskog 2008.

Migration internationale de la main-d’œuvre



Sources : Parsons et al. 2007 ; IDMC 2008.

déciles les plus bas étaient gagnantes durant la période de transfert¹³⁸.

Faciliter les migrations face au défi du changement climatique

Les migrations seront souvent un moyen efficace – malheureusement le seul dans certains cas – de réagir au changement climatique. Selon les estimations, de 200 millions à un milliard de personnes pourraient être contraintes de migrer ou être déplacées d'ici à 2050¹³⁹ (ces estimations, toutefois, reposent sur une évaluation globale du nombre d'individus exposés à l'accroissement des risques plutôt que sur des analyses visant à déterminer si cette exposition au risque incitera les intéressés à migrer¹⁴⁰). Les mesures d'adaptation, telles que la construction d'ouvrages de protection côtière, atténueront les effets des changements climatiques et réduiront les migrations¹⁴¹.

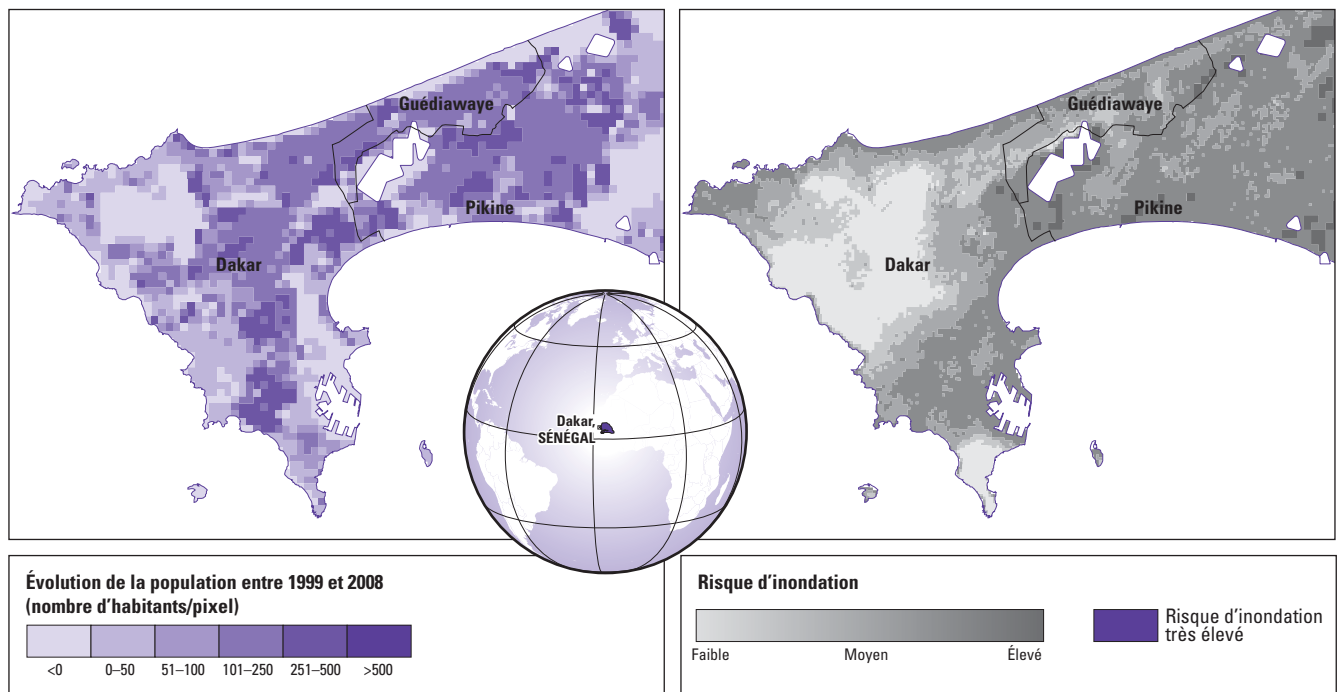
Les mouvements actuels permettent de prévoir de façon approximative la géographie des déplacements dans un avenir proche (encadré 2.12). Les migrations liées au changement climatique partiront avant tout des zones rurales des pays en développement pour se diriger vers les villes et autres agglomérations. Les politiques visant à faciliter les migrations doivent prendre en compte le fait que la plupart

des migrants de la planète se déplacent au sein de leur propre pays et que les voies de migration utilisées par les migrants économiques et les migrants forcés se recoupent largement.

Il ne semble guère que les migrations provoquées par le changement climatique entraînent des conflits ou les aggravent, mais cela pourrait changer. Les populations qui migrent en raison des modifications de l'environnement sont généralement impuissantes et n'ont guère les moyens de combattre¹⁴². Il n'y a pas nécessairement un rapport de cause à effet lorsqu'une migration coïncide avec un conflit¹⁴³. De même, le lien entre les conflits violents et la pénurie de ressources (guerres de l'eau)¹⁴⁴ ou leur dégradation a rarement été prouvé (la pauvreté et les dysfonctionnements institutionnels expliquent davantage ces phénomènes)¹⁴⁵. Toutefois, les incertitudes qui entourent l'enchaînement causal de ces problèmes ne signifient pas que les futures migrations provoquées par le climat n'accroîtront pas les risques de conflit lorsqu'elles coïncideront avec des pressions sur les ressources, l'insécurité alimentaire, les catastrophes naturelles et le manque de gouvernance dans les régions où aboutissent les migrations¹⁴⁶.

L'image négative de la migration peut encourager l'adoption de politiques visant à réduire et à contrôler leur incidence sans vraiment chercher à répondre aux besoins des

Carte2.6 Les migrants sénégalais s'établissent dans des zones inondables autour de la ville de Dakar



Source : Geoville Group 2009.

Note : La lenteur de la croissance économique dans le secteur agricole a fait converger sur Dakar l'exode des migrants venant du reste du pays. De 1988 à 2008, 40 % des nouveaux habitants de la ville se sont installés dans des zones fortement exposées aux risques d'inondations, soit deux fois plus que dans les communes urbaines (19 %) et rurales (23 %) de la capitale. L'expansion urbaine étant géographiquement limitée, l'afflux de migrants a entraîné une forte concentration démographique dans les zones urbaines et périurbaines (sur la carte, 16 pixels correspondent à un kilomètre carré).

migrants, lorsque la migration est la seule solution qui s'offre aux personnes touchées par les problèmes climatiques. En fait, les mesures conçues pour freiner les migrations fonctionnent rarement, vont souvent à l'encontre des objectifs poursuivis et alourdissent les coûts supportés par les migrants et les communautés d'origine et de destination¹⁴⁷. Si l'on veut faciliter les migrations face aux aléas climatiques, il est préférable de formuler des politiques traitant simultanément les questions de migration et de développement, qui peuvent répondre aux besoins des migrants volontaires et mettre en valeur leurs capacités entrepreneuriales et leurs compétences techniques.

Dans la mesure du possible, les politiques devraient décourager les migrants de s'installer dans des zones très exposées aux risques climatiques persistants (carte 2.6). En Colombie, entre 1995 et 2005, 3 millions de personnes ont été déplacées en raison des troubles civils, en majeure partie vers des villes petites ou moyennes. Bon nombre d'entre elles se sont installées dans des zones urbaines marginales inondables, menacées par les glissements de terrain ou situées à proximité de décharges ; de surcroît, en raison de leur manque d'instruction et de compétences professionnelles, ces personnes ne gagnent que 40 % du salaire minimum¹⁴⁸. Dans la perspective de migrations et de réinstallations forcées, les plans orientés vers le long terme devraient viser à identifier d'autres sites, à appliquer des mécanismes d'indemnisation permettant aux migrants de se réinstaller et d'exploiter de nouveaux moyens de subsistance, et à construire des infrastructures publiques et sociales destinées à la vie communautaire. Là encore, ces politiques sont très différentes de nombreuses initiatives menées à l'heure actuelle pour répondre aux besoins des réfugiés et des migrants forcés – que ces personnes soient déplacées à l'intérieur du pays ou exilées à l'étranger.

Certains enseignements se dégagent des expériences récentes en matière de réinstallation de migrants. Le premier est qu'il est nécessaire de faire participer les communautés réinstallées à l'organisation du déplacement et de la reconstruction – et de recourir aussi peu que possible aux sous-traitants et organismes extérieurs. Les personnes réinstallées doivent percevoir des rémunérations conformes aux normes et aux prix en vigueur dans la région hôte, et être impliquées dans la conception et la construction d'infrastructures dans le lieu d'accueil. Dans la mesure du possible, les mécanismes de décision de la communauté réinstallée doivent être pleinement respectés.

Horizon 2050 : à quoi ressemblera le monde ?

Un thème récurrent du présent rapport est qu'il est nécessaire d'agir dès aujourd'hui en raison de la force d'inertie des systèmes sociaux, climatiques et biologiques. Certains enfants de 2010 occuperont des postes à responsabilité en 2050. Selon le scénario d'un réchauffement de 2 °C, ils seront confrontés à des changements radicaux, mais la gestion de ces changements ne sera pour eux qu'un défi parmi de nombreux autres. Dans l'hypothèse d'un réchauffement de 5 °C, en revanche, l'avenir sera beaucoup plus sombre. Il deviendra alors évident que les mesures d'atténuation prises durant plus d'un demi-siècle ont été insuffisantes. Le réchauffement climatique ne sera pas seulement un problème parmi d'autres : il sera le problème dominant.

Notes

- 1 WRI *et al.* 2008 ; Heltberg, Siegel et Jorgensen 2009.
- 2 Tompkins et Adger 2004.
- 3 Enfors et Gordon 2008.
- 4 Le premier scénario correspond approximativement au scénario BI du RSSE selon lequel le monde est en bonne voie pour stabiliser les

« Je voudrais m'adresser aux dirigeants du monde entier et leur demander de promouvoir l'éducation et d'encourager les efforts des collectivités locales pour donner aux enfants les moyens de protéger et de restaurer l'environnement. Les institutions sociales et politiques doivent agir et adapter leurs stratégies pour protéger la santé publique, notamment en faveur des enfants. En tant qu'élève de cinquième année, je pense que ces efforts peuvent contribuer à assurer la survie de notre mère nourricière, la Terre ».

— Dave Laurence A. Juntilla, Philippines, âgé de 11 ans



Raisa Kabir, Bangladesh, 10 ans

- gaz à effet de serre à 450–550 ppm de CO₂e et la hausse des températures à environ 2,5 °C au dessus des niveaux préindustriels. Le second scénario, selon lequel les émissions sont nettement plus élevées, correspond approximativement au scénario A1B du RSSE, qui conduirait à une stabilisation à environ 1 000 ppm et à des températures supérieures d'environ 5 °C à celles de la période préindustrielle ; voir Solomon *et al.* 2007.
- 5 Horton *et al.* 2008 ; Parry *et al.* 2007 ; Rahmstorf *et al.* 2007.
 - 6 Allan et Soden 2008.
 - 7 WBGU 2008.
 - 8 Adger *et al.* 2008.
 - 9 Repetto 2008.
 - 10 Lempert et Schlesinger 2000.
 - 11 Keim 2008.
 - 12 Évaluation des écosystèmes pour le millénaire 2005.
 - 13 Ribot, à paraître.
 - 14 Lempert et Schlesinger 2000 ; Lempert 2007.
 - 15 Lewis 2007.
 - 16 Lempert et Schlesinger 2000 ; Lempert et Collins 2007.
 - 17 Bazerman 2006.
 - 18 Groves et Lempert 2007.
 - 19 Ward *et al.* 2008.
 - 20 Hallegatte 2009.
 - 21 Pahl-Wostl 2007 ; Brunner *et al.* 2005 ; Tompkins et Adger 2004 ; Folke *et al.* 2002.
 - 22 Cumming, Cumming, et Redman 2006.
 - 23 Olsson, Folke et Berkes 2004 ; Folke *et al.* 2005 ; Dietz, Ostrom et Stern 2003.
 - 24 Olsson, Folke et Berkes, 2004 ; Folke *et al.*, 2005 ; Dietz, Ostrom et Stern, 2003.
 - 25 Dietz et Stern 2008.
 - 26 Ligeti, Penney et Wieditz 2007.
 - 27 Pahl-Wostl 2007.
 - 28 FAO et CIFOR 2005.
 - 29 Organisation des Nations Unies 2008b.
 - 30 Organisation des Nations Unies 2008a.
 - 31 Balk, McGranahan et Anderson 2008. Les zones côtières de faible élévation désignent les terres côtières dont l'élévation est inférieure à 10 mètres ; voir Socioeconomic Data and Application Center, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/lec.jsp> (accessed January 8, 2009).
 - 32 McGranahan, Balk et Anderson 2007.
 - 33 Le taux de migration net de Shanghai était de 4-8 % entre 1995 and 2006, alors que le taux de croissance naturelle de la population était inférieur à 2 % ; voir Organisation des Nations Unies 2008a.
 - 34 Nicholls *et al.* 2008.
 - 35 Simms et Reid 2006.
 - 36 Banque mondiale 2008a.
 - 37 Seo 2009.
 - 38 Banque mondiale 2008g.
 - 39 Banque mondiale 2008g.
 - 40 En utilisant un seuil de pauvreté de 2,15 dollars par jour ; voir Ravallion, Chen et Sangraula 2007.
 - 41 Organisation des Nations Unies 2008a.
 - 42 Satterthwaite 2008.
 - 43 Díaz Palacios et Miranda 2005.
 - 44 Pelling 1997.
 - 45 Banque mondiale 2008c.
 - 46 Hara, Takeuchi et Okubo 2005.
 - 47 Bates *et al.* 2008.
 - 48 Banque mondiale 2008a.
 - 49 Satterthwaite *et al.* 2007.
 - 50 McEvoy, Lindley et Handley 2006.
 - 51 Laryea-Adjei 2000.
 - 52 Confalonieri *et al.* 2007.
 - 53 Ne comprend que la mortalité majeure due à des causes particulières et exclut les effets indirects et la morbidité ; voir McMichael *et al.* 2004 ; Global Humanitarian Forum 2009.
 - 54 Banque mondiale 2008b.
 - 55 Robine *et al.* 2008.
 - 56 Solomon *et al.* 2007 ; Luber et McGeehin 2008.
 - 57 Corburn 2009.
 - 58 Fay, Block et Ebinger 2010.
 - 59 Gallup et Sachs 2001.
 - 60 Hay *et al.* 2006 ; cette estimation prend uniquement en compte l'expansion du vecteur de maladie ; le gonflement de la population aggravera cet effet et accroîtra la population menacée de 390 millions de personnes (soit 60 %) par rapport à la base de référence démographique de 2005.
 - 61 Hales *et al.* 2002 ; en l'absence de changement climatique, seulement 35 % de la population mondiale projetée en 2085 serait menacée.
 - 62 OMS 2008 ; de la Torre, Fajnzylber et Nash 2008.
 - 63 Keiser *et al.* 2004.
 - 64 Rogers *et al.* 2002.
 - 65 Programme climatologique mondial 2007.
 - 66 OMS 2005 ; Frumkin et McMichael 2008.
 - 67 L'amélioration de l'assainissement et de l'hygiène a des effets bénéfiques sur la santé, comme le montre l'incidence des améliorations sanitaires sur la santé des enfants de Salvador, ville brésilienne de 2,4 millions d'habitants. Le programme a réduit de 22 % la prévalence des maladies diarrhéiques dans la ville entre 2003 et 2004 et de 43 % dans les communautés courants des risques élevés. Les améliorations étaient imputables principalement aux nouvelles infrastructures (Barreto *et al.* 2007).
 - 68 AMWA 2007.
 - 69 Galiani, Gertler et Schargrotsky 2005.
 - 70 Richmond 2008.
 - 71 Des preuves de plus en plus abondantes donnent à penser que les données existantes sur les pertes dues aux catastrophes naturelles excluent la plupart des phénomènes mineurs qui représentent peut-être jusqu'au quart des décès attribués aux risques naturels ; de nombreux responsables municipaux n'ont guère conscience des risques que le changement climatique fait courir aux habitants et aux infrastructures de leur ville ; voir Awuor, Orindi et Adwera 2008 ; Bull-Kamanga *et al.* 2003 ; Roberts 2008.
 - 72 Hoeppe et Gurenko 2006.
 - 73 Organisation des Nations Unies 2009.
 - 74 Organisation des Nations Unies 2008a.
 - 75 Stratégie internationale de prévention des catastrophes, <http://www.unisdr.org/eng/hfa/hfa.htm> (consulté le 12 mars 2009).
 - 76 Forum économique mondial 2008.
 - 77 Milly *et al.* 2002.
 - 78 The Nameless Hurricane, http://science.nasa.gov/headlines/y2004/02apr_hurricane.htm (consulté le 12 mars 2009).
 - 79 Ranger, Muir-Wood et Priya 2009.

80 Par exemple les services d'information fournis par l'Agence écossaise pour la protection de l'environnement, www.sepa.org.uk/flooding (consulté le 12 mars 2009).

81 Lin 2008.

82 Ghesquiere, Jamin et Mahul 2006.

83 Ferguson 2005.

84 Linnerooth-Bayer et Mechler 2006.

85 Mills 2007.

86 Manuamorn 2007 ; Giné, Townsend et Vickery 2008 ; Banque mondiale 2008e.

87 Hochrainer *et al.* 2008.

88 Christen et Pearce 2005.

89 Llanto, Geron et Almarino 2007.

90 Kunreuther et Michel-Kerjan 2007 ; Tol 1998.

91 Banque mondiale 2005.

92 Mills 2005 ; Dlugolecki 2008 ; ABI 2004.

93 Skees 2001.

94 Ceci soulève des questions importantes : il faut disposer d'une réglementation et de codes en matière d'utilisation des terres et les appliquer. Il peut être nécessaire de rendre l'assurance légalement obligatoire dans les zones très menacées. Des questions d'équité se posent aussi : que faut-il faire au sujet des personnes qui ont toujours vécu dans des zones très menacées, mais qui n'ont pas les moyens de payer de véritables primes basées sur le risque ?

95 Kunreuther et Michel-Kerjan 2007.

96 Cummins et Mahul 2009.

97 Voir Cardenas *et al.* 2007 pour un exemple de l'utilisation d'instruments du marché en matière de gestion du risque financier souverain dans le cadre de catastrophes naturelles au Mexique.

98 Mechler *et al.* 2009.

99 La Banque mondiale proposera des contrats sur produits dérivés climatiques basés sur un indice, <http://go.worldbank.org/9GXG8E4GP1> (consulté le 15 mai 2009).

100 État du Bangladesh 2008.

101 Bankoff, Frerks et Hilhorst 2004.

102 Dercon 2004.

103 Alderman, Hoddinott et Kinsey 2006 ; Bartlett 2008 ; UNICEF 2008 ; del Ninno et Lundberg 2005.

104 Francis et Amuyunzu-Nyamongo 2008 ; Nelson *et al.* 2002.

105 Ensor et Berger 2009 ; Goulden *et al.* 2009 ; Gaillard 2007.

106 Adger *et al.* 2005 ; Orlove, Chiang et Cane 2000 ; Srinivasan 2004 ; Wilbanks et Kates 1999.

107 Stringer *et al.*, à paraître ; Twomlow *et al.* 2008.

108 Nelson, Adger et Brown 2007.

109 Walker *et al.* 2006.

110 Gaiha, Imai et Kaushik 2001 ; Martin et Prichard 2009.

111 Gibbs 2009.

112 Adger 2003.

113 Berkes et Jolly 2002.

114 Macchi 2008 ; fondation Tebtebba 2008.

115 Costello, Gaines et Lynham 2008.

116 Pomeroy et Pido 1995.

117 Chhatre et Agrawal, à paraître.

118 Ostrom 1990 ; Berkes 2007 ; Agrawal et Ostrom 2001 ; Larson et Soto 2008.

119 Sobrevila 2008 ; White et Martin 2002.

120 Bandura 1977 ; Levitt et March 1988 ; Ellison et Fudenberg 1993 ; Ellison et Fudenberg 1995.

121 Granovetter 1978 ; Kanaiaupuni 2000 ; Portes et Sensenbrenner 1993.

122 Buskens et Yamaguchi 1999 ; Rogers 1995.

123 Foskett et Helmsley-Brown 2001.

124 Gillespie 2004.

125 Banque mondiale 2009.

126 Ivanic et Martin 2008.

127 Grosh *et al.* 2008.

128 Lobell *et al.* 2008.

129 Kanbur 2009 ; Ravallion 2008.

130 Grosh *et al.* 2008.

131 Grosh *et al.* 2008 ; Alderman et Haque 2006.

132 Famine Early Warning Systems Network, www.fews.net (consulté le 15 mai 2009).

133 Alderman et Haque 2006 ; Vakis 2006.

134 Hess, Wiseman et Robertson 2006.

135 del Ninno, Subbarao et Milazzo 2009.

136 IEG 2008 ; Komives *et al.* 2005.

137 Banque mondiale 2008d.

138 Banque mondiale 2006.

139 Myers 2002 ; Christian Aid 2007.

140 Barnett et Webber 2009.

141 Black 2001 ; Anthoff *et al.* 2006.

142 Gleditsch, Nordås et Salehyan 2007.

143 Reuveny 2007.

144 Barnaby 2009.

145 Theisen 2008 ; Nordås et Gleditsch 2007.

146 WBGU 2008 ; Campbell *et al.* 2007.

147 WBGU 2008 ; Campbell *et al.* 2007.

148 Bartlett *et al.* 2009.

Bibliographie

ABI (Association of British Insurers), *A Changing Climate for Insurance: A Summary Report for Chief Executives and Policymakers*, Londres, ABI, 2004.

Adger, W. N., « Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change », *Economic Geography*, 79 (4), p. 387-404, 2003.

Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J. et Wreford, A., « Are There Social Limits to Adaptation to Climate Change? », *Climatic Change*, 93 (3-4), p. 335-54, 2008.

Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R. et Rockstrom, J., « Social-ecological Resilience to Coastal Disasters », *Science*, 309 (5737), p. 1036-39, 2005.

Agrawal, A. et Ostrom, E., « Collective Action, Property Rights, and Decentralization in Resource Use in India and Nepal », *Politics and Society*, 29 (4), p. 485-514, 2001.

Alderman, H. et Haque, T., « Countercyclical Safety Nets for the Poor and Vulnerable », *Food Policy*, 31 (4), p. 372-83, 2006.

Alderman, H., Hoddinott, J. et Kinsey, B., « Long Term Consequences of Early Childhood Malnutrition », *Oxford Economic Papers*, 58 (3), p. 450-74, 2006.

Allan, R. P. et Soden, B. J., « Atmospheric Warming and the Amplification of Extreme Precipitation Events », *Science*, 321, p. 1481-84, 2008.

- Amin, S., « Migrations in Contemporary Africa: A Retrospective View », *The Migration Experience in Africa*, sous la direction de J. Baker et T. A. Aina, Uppsala, Nordic Africa Institute, 1995.
- AMWA (Association of Metropolitan Water Agencies), *Implications of Climate Change for Urban Water Utilities*, Washington, DC, AMWA, 2007.
- Anthoff, D., Nicholls, R. J., Tol, R. S. J. et Vafeidis, A. T., « Global and Regional Exposure to Large Rises in Sea-level: A Sensitivity Analysis », *Research Working Paper*, 96, Tyndall Center for Climate Change, Norwich, Royaume-Uni, 2006.
- Awuor, C. B., Orindi, V. A. et Adwera, A. « Climate Change and Coastal Cities: The Case of Mombasa, Kenya », *Environment and Urbanization*, 20 (1), p. 231-42, 2008.
- Balk, D., McGranahan, G. et Anderson, B., « Urbanization and Ecosystems: Current Patterns and Future Implications », *The New Global Frontier: Urbanization, Poverty and Environment in the 21st Century*, sous la direction de G. Martine, G. McGranahan, M. Montgomery et R. Fernandez-Castilla, Londres, Earthscan, 2008.
- Bandura, A., *Social Learning Theory*, New York, General Learning Press, 1977.
- Bankoff, G., Frerks, G. et Hilhorst, D., *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, Londres, Earthscan, 2004.
- Banque mondiale, *Managing Agricultural Production Risk: Innovations in Developing Countries*, Washington, DC, Banque mondiale, 2005.
- Banque mondiale, *Making the New Indonesia Work for the Poor*, Washington, DC, Banque mondiale, 2006.
- Banque mondiale, *Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerabilities to Climate Change Impacts and Strengthening Disaster Risk Management in East Asian Cities*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008a.
- Banque mondiale, *Environmental Health and Child Survival: Epidemiology, Economics, Experiences*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008b.
- Banque mondiale, *Project Appraisal Document: Regional Adaptation to the Impact of Rapid Glacier Retreat in the Tropical Andes*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008c.
- Banque mondiale, *Reforming Energy Price Subsidies and Reinforcing Social Protection: Some Design Issues*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008d.
- Banque mondiale, *The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility: Providing Immediate Funding after Natural Disasters*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008e.
- Banque mondiale, *World Development Indicators 2008*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008f.
- Banque mondiale, *World Development Report 2009. Reshaping Economic Geography*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008g.
- Banque mondiale, *Development and Climate Change: A Strategic Framework for the World Bank Group: Technical Report*, Washington, DC, Banque mondiale, 2009.
- Barnaby, W., « Do Nations Go to War over Water? », *Nature*, 458, p. 282-83, 2009.
- Barnett, J. et Webber, M., *Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change*, Stockholm, Commission sur le changement climatique et le développement, 2009.
- Barreto, M. L., Genser, B., Strina, A., Assis, A. M., Rego, R. F., Teles, C. A., Prado, M. S., Matos, S. M., Santos, D. N., dos Santos, L. A. et Cairncross, S., « Effect of City-wide Sanitation Programme on Reduction in Rate of Childhood Diarrhoea in Northeast Brazil: Assessment by Two Cohort Studies », *Lancet*, 370, p. 1622-28, 2007.
- Bartlett, S., « Climate Change and Urban Children: Impacts and Implications for Adaptation in Low and Middle Income Countries », *Environment and Urbanization*, 20 (2), p. 501-19, 2008.
- Bartlett, S., Dodman, D., Haroy, J., Satterthwaite, D. et Tacoli, C., « Aspects sociaux du changement climatique dans les zones urbaines – Études de cas en Afrique, Asie et Amérique latine », Étude présentée lors du 5^e Symposium mondial de recherche urbaine de la Banque mondiale, « Villes et changement climatique : répondre à un agenda urgent », Marseille, 28-30 juin 2009.
- Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. et Palutikof, J., « Climate Change and Water », Étude technique, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, 2008.
- Bazerman, M. H., « Climate Change as a Predictable Surprise », *Climatic Change*, 77, p. 179-93, 2006.
- Benson, C. et Twigg, J., *Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organizations*, Genève, ProVention Consortium, 2007.
- Berkes, F., « Understanding Uncertainty and Reducing Vulnerability: Lessons from Resilience Thinking », *Natural Hazards*, 41 (2), p. 283-95, 2007.
- Berkes, F. et Jolly, D., « Adapting to Climate Change: Social Ecological Resilience in a Canadian Western Arctic Community », *Ecology and Society*, 5 (2), p. 18, 2002.
- Bigio, A. G., « Concept Note: Adapting to Climate Change in the Coastal Cities of North Africa », Banque mondiale, région Moyen-Orient et Afrique du Nord, Washington, DC, 2008.
- Black, R., « Environmental Refugees: Myth or Reality? », *New Issues in Refugee Research Working Paper 34*, Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, Genève, 2001.
- Botoni, E. et Reij, C., « La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au sahel : Impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles », Rapport technique, Université libre d'Amsterdam et Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS), Ouagadougou, Burkina-Faso, 2009.
- Brunner, R. D., Steelman, T. A., Coe-Juell, L., Cromley, C. M., Edwards, C. M. et Tucker, D. W., *Adaptive Governance: Integrating Science, Policy, and Decisions Making*, New York, Columbia University Press, 2005.
- Bull-Kamanga, L., Diagne, K., Lavell, A., Lerise, F., MacGregor, H., Maskrey, A., Meshack, M., Pelling, M., Reid, H., Satterthwaite, D., Songsore, J., Westgate, K. et Yitambe, A., « Urban Development and the Accumulation of Disaster Risk and Other Life-Threatening Risks in Africa », *Environment and Urbanization*, 15 (1), p. 193-204, 2003.
- Buskens, V. et Yamaguchi, K., « A New Model for Information Diffusion in Heterogeneous Social Networks », *Socio-logical Methodology*, 29 (1), p. 281-325, 1999.
- Campbell, K. M., Gullede, J., McNeill, J. R., Podesta, J., Ogden, P., Fuerth, L., Woolsey, R. J., Lennon, A. T. J., Smith, J., Weitz, R. et Mix, D., *The Age of Consequences: The Foreign Policy and National Security Implications of Global Climate Change*, Washington, DC, Center for a New American Security et Center for Strategic and International Studies, 2007.

Cardenas, V., Hochrainer, S., Mechler, R., Pflug, G. et Linnerooth-Bayer, J., « Sovereign Financial Disaster Risk Management: The Case of Mexico », *Environmental Hazards*, 7 (1), p. 40-53, 2007.

CatSalut, *Action Plan to Prevent the Effects of a Heat Wave on Health*, Barcelone, Generalitat de Catalunya Departament de Salut, 2008.

Chhatre, A. et Agrawal, A., « Carbon Storage and Livelihoods Generation through Improved Governance of Forest Commons », *Science*, à paraître.

Christen, R. P. et Pearce, D., *Managing Risks and Designing Products for Agricultural Microfinance: Feature of an Emerging Model*, Washington, DC, GCAP ; Rome, FIDA, 2005.

Christian Aid, *Human Tide: The Real Migration Crisis*, Londres, Christian Aid, 2007.

CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), « Gridded Population of the World (GPWv3) », CIESIN, Columbia University et Centro Internacional de Agricultura Tropical, Palisades, État de New York, 2005.

Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K. L., Hauengue, M., Kovats, R. S., Revich, B. et Woodward, A., « Human Health », *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2007.

Corburn, J., « Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environmental Science », *Urban Studies*, 46 (2), p. 413-27, 2009.

Costello, C., Gaines, S. D. et Lynham, J., « Can Catch Shares Prevent Fisheries Collapse? », *Science*, 321 (5896), p. 1678-81, 2008.

CRED (Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes), « EM-DAT: The International Emergency Disasters Database », CRED, Université catholique de Louvain, École de santé publique, Louvain, 2009.

CSE (Center for Science and Environment), « An Ecological Act: A Backgrounder to the National Rural Employment Guarantee Act (NREGA) », CSE, New Delhi, 2007.

Cumming, G. S., Cumming, D. H. M. et Redman, C. L., « Scale Mismatches in Social-Ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions », *Ecology and Society*, 11 (1), p. 14, 2006.

Cummins, J. D. et Mahul, O., *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries. Principles for Public Intervention*, Washington, DC, Banque mondiale, 2009.

Dartmouth Flood Observatory, « Global Active Archive of Large Flood Events », Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, disponible à www.dartmouth.edu/~floods, consulté le 9 janvier 2009.

de Haan, A., « Migration and Livelihoods in Historical Perspectives: A Case Study of Bihar, India », *Journal of Development Studies*, 38 (5), p. 115-42, 2002.

de Haas, H., « The Complex Role of Migration in Shifting Rural Livelihoods: A Moroccan Case Study », *Global Migration and Development*, sous la direction de T. van Naerssen, E. Spaan et A. Zoomers, Londres, Routledge, 2008.

de la Torre, A., Fajnzylber, P. et Nash, J., *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008.

del Ninno, C. et Lundberg, M., « Treading Water: The Long-term Impact of the 1998 Flood on Nutrition in Bangladesh », *Economics and Human Biology*, 3 (1), p. 67-96, 2005.

del Ninno, C., Subbarao, K. et Milazzo, A., « How to Make Public Works Work: A Review of the Experiences », Avant-projet 0905, Protection sociale et travail, Banque mondiale, Washington, DC, 2009.

Dercon, S., *Insurance against Poverty*, Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press, 2004.

Díaz Palacios, J. et Miranda, L., « Concertación (Reaching Agreement) and Planning for Sustainable Development in Ilo, Peru », *Reducing Poverty and Sustaining the Environment: The Politics of Local Engagement*, sous la direction de S. Bass, H. Reid, D. Satterthwaite et P. Steele, Londres, Earthscan, 2005.

Dietz, T., Ostrom, E. et Stern, P. C., « The Struggle to Govern the Commons », *Science*, 302 (5652), p. 1907-12, 2003.

Dietz, T. et Stern, P. C., *Public Participation in Environmental Assessment and Decision Making*, Washington, DC, National Academies Press, 2008.

Dlugolecki, A., « Climate Change and the Insurance Sector », *Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice*, 33 (1), p. 71-90, 2008.

Ellison, G. et Fudenberg, D., « Rules of Thumb for Social Learning », *Journal of Political Economy*, 101 (4), p. 612-43, 1993.

Ellison, G. et Fudenberg, D., « Word-of-Mouth Communication and Social Learning », *Quarterly Journal of Economics*, 110 (1), p. 93-125, 1995.

Enfors, E. I. et Gordon, L. J., « Dealing with Drought: The Challenge of Using Water System Technologies to Break Dryland Poverty Traps », *Global Environmental Change*, 18 (4), p. 607-16, 2008.

Ensor, J. et Berger, R., « Community-Based Adaptation and Culture in Theory and Practice », *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*, sous la direction de N. Adger, I. Lorenzoni et K. L. O'Brien, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2009.

ESA (Agence spatiale européenne), *Sustainable Development: The Space Contribution: From Rio to Johannesburg – Progress Over the Last 10 Years*, Paris, ESA pour le Comité sur les satellites d'observation de la Terre, 2002.

Fankhauser, S., Martin, N. et Prichard, S., « The Economics of the CDM Levy: Revenue Potential, Tax Incidence, and Distortionary Effects », Document de travail, London School of Economics, à paraître.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) et CIFOR (Centre pour la recherche forestière internationale), « Forests and Floods: Drowning In Fiction or Thriving On Facts? », Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique 2005/03, Bangkok, 2005.

Fay, M., Block, R. I. et Ebinger, J., *Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia*. Washington, DC, Banque mondiale, dir. 2010.

Ferguson, N., *Mozambique: Disaster Risk Management Along the Rio Búzi. Case Study on the Background, Concept, and Implementation of Disaster Risk Management in the Context of the GTZ-Programme for Rural Development (PRODER)*, Duren, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Governance and Democracy Division, 2005.

- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. S., Walker, B., Bengtsson, J., Berkes, F., Colding, J., Danell, K., Falkenmark, M., Gordon, L., Kasperson, R., Kautsky, N., Kinzig, A., Levin, S., Mäler, K.-G., Moberg, F., Ohlsson, L., Olsson, P., Ostrom, E., Reid, W., Rockström, J., Savenije, H. et Svedin, U., *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations*, Stockholm, Environmental Advisory Council to the Swedish Government, 2002.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P. et Norberg, J., « Adaptive Governance of Social-ecological Systems », *Annual Review of Environment and Resources*, 30, p. 441-73, 2005.
- Foskett, N. et Hemsley-Brown, J., *Choosing Futures: Young People's Decision-Making in Education, Training and Career Markets*, Londres, RoutledgeFalmer, 2001.
- Francis, P. et Amuyunzu-Nyamongo, M., « Bitter Harvest: The Social Costs of State Failure in Rural Kenya », *Assets, Livelihoods, and Social Policy*, sous la direction de C. Moser et A. A. Dani, Washington, DC, Banque mondiale, 2008.
- Forum économique mondial, *Building Resilience to Natural Disasters: A Framework for Private Sector Engagement*, Genève, Forum économique mondial, Banque mondiale et Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies, 2008.
- Forum humanitaire mondial, *The Anatomy of A Silent Crisis*, Genève, Forum humanitaire mondial, 2009.
- Frumkin, H. et McMichael, A. J., « Climate Change and Public Health: Thinking, Communicating, Acting », *American Journal of Preventive Medicine*, 35 (5), p. 403-10, 2008.
- Gaiha, R., Imai, K. et Kaushik, P. D., « On the Targeting and Cost Effectiveness of Anti-Poverty Programmes in Rural India », *Development and Change*, 32 (2), p. 309-42, 2001.
- Gaillard, J.-C., « Resilience of Traditional Societies in Facing Natural Hazards », *Disaster Prevention and Management*, 16 (4), p. 522-44, 2007.
- Galiani, S., Gertler, P. et Schargrodsky, E., « Water for Life: The Impact of the Privatization of Water Services on Child Mortality », *Journal of Political Economy*, 113 (1), p. 83-120, 2005.
- Gallup, J. L. et Sachs, J. D., « The Economic Burden of Malaria », *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 64 (1-2), p. 85-96, 2001.
- Geoville Group, « Spatial Analysis of Natural Hazard and Climate Change Risks in Peri-Urban Expansion Areas of Dakar, Senegal », Étude présentée lors de la World Bank Urban Week 2009, Washington, DC, 2009.
- Ghesquiere, F., Jamin, L. et Mahul, O., « Earthquake Vulnerability Reduction Program in Colombia: A Probabilistic Cost-Benefit Analysis », *Policy Research Working Paper 3939*, Banque mondiale, Washington, DC, 2006.
- Gibbs, M. T., « Resilience: What Is It and What Does It Mean for Marine Policymakers? », *Marine Policy*, 33 (2), p. 322-31, 2009.
- Gillespie, S., « Scaling Up Community-Driven Development: A Synthesis of Experience », *FCND Discussion Paper 181*, Food Consumption and Nutrition Division, International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 2004.
- Giné, X., Townsend, R. et Vickery, J., « Patterns of Rainfall Insurance Participation in Rural India », *World Bank Economic Review*, 22 (3), p. 539-66, 2008.
- Girardet, H., *Cities People Planet: Urban Development and Climate Change*, 2^e édition, Chichester, Royaume-Uni, John Wiley & Sons, 2008.
- Gleditsch, N., Nordås, R. et Salehyan, I., « Climate Change and Conflict: The Migration Link », *Coping with Crisis Working Paper Series*, International Peace Academy, New York, mai 2007.
- Goulden, M., Naess, L. O., Vincent, K. et Adger, W. N., « Accessing Diversification, Networks and Traditional Resource Management as Adaptations to Climate Extremes », *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*, sous la direction de N. Adger, I. Lorenzoni et K. O'Brien, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2009.
- Gouvernement délégué du Pays de Galles, *Heatwave Plan for Wales: A Framework for Preparedness and Response*, Cardiff, Royaume-Uni, Département de la santé publique et des professions de santé du Gouvernement délégué du Pays de Galles, 2008.
- Gouvernement du Bangladesh, *Cyclone Sidr in Bangladesh: Damage, Loss and Needs Assessment for Disaster Recovery and Reconstruction*, Dhaka, gouvernement du Bangladesh, Banque mondiale et Commission européenne, 2008.
- Granovetter, M., « Threshold Models of Collective Behavior », *American Journal of Sociology*, 83 (6), p. 1420-43, 1978.
- Grosh, M. E., del Ninno, C., Tesliuc, E. et Ouerghi, A., *For Protection and Promotion: The Design and Implementation of Effective Safety Nets*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008.
- Groves, D. G. et Lempert, R. J., « A New Analytic Method for Finding Policy-Relevant Scenarios », *Global Environmental Change*, 17 (1), p. 73-85, 2007.
- Hales, S., de Wet, N., Maindonald, J. et Woodward, A., « Potential Effect of Population and Climate Changes on Global Distribution of Dengue Fever: An Empirical Model », *Lancet*, 360, p. 830-34, 2002.
- Hallegatte, S., « Strategies to Adapt to an Uncertain Climate Change », *Global Environmental Change*, 19 (2), p. 240-47, 2009.
- Hara, Y., Takeuchi, K. et Okubo, S., « Urbanization Linked with Past Agricultural Landuse Patterns in the Urban Fringe of a Deltaic Asian Mega-City: A Case Study in Bangkok », *Landscape and Urban Planning*, 73 (1), p. 16-28, 2005.
- Hay, S. I., Tatem, A. J., Guerra, C. A. et Snow, R. W., *Population at Malaria Risk in Africa: 2005, 2015, and 2030*, Londres, Centre for Geographic Medicine, KEMRI/Welcome Trust Collaborative Programme, Université d'Oxford, 2006.
- Heltberg, R., Siegel, P. B. et Jorgensen, S. L., « Addressing Human Vulnerability to Climate Change: Toward a "No-Regrets" Approach », *Global Environmental Change*, 19 (1), p. 89-99, 2009.
- Herrmann, S. M., Anyamba, A. et Tucker, C. J., « Recent Trends in Vegetation Dynamics in the African Sahel and Their Relationship to Climate », *Global Environmental Change*, 15 (4), p. 394-404, 2005.
- Hess, U., Wiseman, W. et Robertson, T., *Ethiopia: Integrated Risk Financing to Protect Livelihoods and Foster Development*, Rome, Programme alimentaire mondial, 2006.
- Hoehner, S., Mechler, R., Pflug, G. et Lotsch, A., « Investigating the Impact of Climate Change on the Robustness of Index-Based Microinsurance in Malawi », *Policy Research Working Paper 4631*, Banque mondiale, Washington, DC, 2008.
- Hoeppe, P. et Gurenko, E. N., « Scientific and Economic Rationales for Innovative Climate Insurance Solutions », *Climate Policy*, 6, p. 607-20, 2006.

Horton, R., Herweijer, C., Rosenzweig, C., Liu, J., Gornitz, V. et Ruane, A. C., « Sea Level Rise Projections for Current Generation CGCMs Based on the Semi-Empirical Method », *Geophysical Research Letters*, 35:L02715. DOI:10.1029/2007GL032486, 2008.

IDMC (Observatoire des situations de déplacement interne), *Internal Displacement: Global Overview of Trends and Developments in 2008*, Genève, IDMC, 2008.

IEG (Groupe indépendant d'évaluation), 2008, *Climate Change and the World Bank Group-Phase I: An Evaluation of World Bank Win-Win Energy Policy Reforms*, Washington, DC, IEG Knowledge Programs and Evaluation Capacity Development, 2008.

Ivanic, M. et Martin, W., « Implications of Higher Global Food Prices for Poverty in Low-Income Countries », *Policy Research Working Paper 4594*, Banque mondiale, Washington, DC, 2008.

Kanaiaupuni, S. M., « Reframing the Migration Question: An Analysis of Men, Women, and Gender in Mexico », *Social Forces*, 78 (4), p. 1311-47, 2000.

Kanbur, R., « Macro Crises and Targeting Transfers to the Poor », Cornell University, Ithaca, État de New York, 2009.

Keim, M. E., « Building Human Resilience: The Role of Public Health Preparedness and Response as an Adaptation to Climate Change », *American Journal of Preventive Medicine*, 35 (5), p. 508-16, 2008.

Keiser, J., Utzinger, J., Castro, M. C., Smith, T. A., Tanner, M. et Singer, B. H., « Urbanization in Sub-Saharan Africa and Implications for Malaria Control », *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 71 (S2), p. 118-27, 2004.

Knowlton, K., Solomon, G. et Rotkin-Ellman, M., « Fever Pitch: Mosquito-Borne Dengue Fever Threat Spreading in The Americas », *Issue Paper*, Natural Resources Defense Council, New York, juillet 2009.

Kolmannskog, V. O., *Future Floods of Refugees: A Comment on Climate Change, Conflict and Forced Migration*, Oslo, Conseil norvégien pour les réfugiés, 2008.

Komives, K., Foster, V., Halpern, J., Wodon, Q. et Abdullah, R., *Water, Electricity, and the Poor: Who Benefits from Utility Subsidies?*, Washington, DC, Banque mondiale, 2005.

Kopf, S., Ha-Duong, M. et Hallegatte, S., « Using Maps of City Analogues to Display and Interpret Climate Change Scenarios and Their Uncertainty », *Natural Hazards and Earth System Science*, 8 (4), p. 905-18, 2008.

Kunreuther, H. et Michel-Kerjan, E., « Climate Change, Insurability of Large-Scale Disasters and the Emerging Liability Challenge », *Working Paper 12821*, National Bureau of Economic Research, Cambridge, Massachusetts, 2007.

Larson, A. et Soto, F., « Decentralization of Natural Resource Governance Regimes », *Annual Review of Environment and Resources*, 33, p. 213-39, 2008.

Laryea-Adjei, G., « Building Capacity for Urban Management in Ghana: Some Critical Considerations », *Habitat International*, 24 (4), p. 391-402, 2000.

Laukkonen, J., Blanco, P. K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B. et Kinuthia-Njenga, C., « Combining Climate Change Adaptation and Mitigation Measures at the Local Level », *Habitat International*, 33 (3), p. 287-92, 2009.

Lempert, R. J., « Creating Constituencies for Long-term Radical Change », *Wagner Research Brief 2*, New York University, New York, 2007.

Lempert, R. J. et Collins, M. T., « Managing the Risk of Uncertain Threshold Responses: Comparison of Robust, Optimum, and Precautionary Approaches », *Risk Analysis*, 27 (4), p. 1009-26, 2007.

Lempert, R. J. et Schlesinger, M. E., « Robust Strategies for Abating Climate Change », *Climatic Change*, 45 (3-4), p. 387-401, 2000.

Levitt, B. et March, J. G., « Organizational Learning », *Annual Review of Sociology*, 14, p. 319-38, 1988.

Lewis, M., « In Nature's Casino », *New York Times Magazine*, 26 août 2007.

Ligeti, E., Penney, J. et Wieditz, I., *Cities Preparing for Climate Change: A Study of Six Urban Regions*, Toronto, The Clean Air Partnership, 2007.

Lin, H., *Proposal Report on Flood Hazard Mapping Project in Taihu Basin*, Chine, Administration du bassin de Taihu au ministère des Eaux, 2008.

Linnerooth-Bayer, J. et Mechler, R., « Insurance for Assisting Adaptation to Climate Change in Developing Countries: A Proposed Strategy », *Climate Policy*, 6, p. 621-36, 2006.

Llanto, G. M., Geron, M. P. et Almario, J., « Developing Principles for the Regulation of Microinsurance (Philippine Case Study) », Avant-projet 2007-26, Philippine Institute for Development Studies, Makati City, 2007.

Lobell, D. B., Burke, M., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P. et Naylor, R. L., « Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030 », *Science*, 319 (5863), p. 607-10, 2008.

Luber, G. et McGeehin, M., « Climate Change and Extreme Heat Events », *American Journal of Preventive Medicine*, 35 (5), p. 429-35, 2008.

Lucas, R. E. B., *International Migration and Economic Development: Lessons from Low-Income Countries: Executive Summary*, Stockholm, Almkvist & Wiksell International, Expert Group on Development Issues, 2005.

Lucas, R. E. B., « Migration and Economic Development in Africa: A Review of Evidence », *Journal of African Economies*, 15 (2), p. 337-95, 2006.

Macchi, M., *Indigenous and Traditional People and Climate Change: Vulnerability and Adaptation*, Gland, Suisse, Union internationale pour la conservation de la nature, 2008.

Mahul, O. et Skees, J., « Managing Agricultural Risk at the Country Level: The Case of Index-based Livestock Insurance in Mongolia », *Policy Research Working Paper 4325*, Banque mondiale, Washington, DC, 2007.

Manuamorn, O. P., « Scaling Up Microinsurance: The Case of Weather Insurance for Smallholders in India », *Agriculture and Rural Development Discussion Paper 36*, Banque mondiale, Washington, DC, 2007.

Massey, D. et Espana, F., « The Social Process of International Migration », *Science*, 237 (4816), p. 733-38, 1987.

McEvoy, D., Lindley, S. et Handley, J., « Adaptation and Mitigation in Urban Areas: Synergies and Conflicts », *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 159 (4), p. 185-91, 2006.

McGranahan, G., Balk, D. et Anderson, B., « The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones », *Environment and Urbanization*, 19 (1), p. 17-37, 2007.

McMichael, A., Campbell-Lendrum, D., Kovats, S., Edwards, S., Wilkinson, P., Wilson, T., Nicholls, R., Hales, S., Tanser, F.,

- Le Sueur, D., Schlesinger, M. et Andronova, N., « Global Climate Change », *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*, vol. 2, sous la direction de M. Ezzati, A. D. Lopez, A. Rodgers et C. J. L. Murray, Genève, Organisation mondiale de la santé, 2004.
- Mearns, R., « Sustaining Livelihoods on Mongolia's Pastoral Commons: Insights from a Participatory Poverty Assessment », *Development and Change*, 35 (1), p. 107-39, 2004.
- Mechler, R., Hochrainer, S., Pflug, G., Williges, K. et Lotsch, A., « Assessing Financial Vulnerability to Climate-Related Natural Hazards », Étude de référence pour le RDM 2010, 2009.
- Mercy Corps, « Reducing Flood Risk through a Job Creation Scheme », *Linking Disaster Risk Reduction and Poverty Reduction: Good Practices and Lessons Learned: 2008*, sous la direction du Réseau mondial d'ONG pour la réduction des risques de catastrophes, Genève, Programme des Nations Unies pour le développement et Stratégie internationale de prévention des catastrophes (SIPC), 2008.
- Migration DRC, « Global Migrant Origin Database », Development Research Centre on Migration, Globalisation and Poverty, University of Sussex, Brighton, 2007.
- Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, Washington, DC, Institut des ressources mondiales, 2005.
- Mills, E., « Insurance in a Climate of Change », *Science*, 309 (5737), p. 1040-44, 2005.
- Mills, E., « Synergism between Climate Change Mitigation and Adaptation: Insurance Perspective », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, p. 809-42, 2007.
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Dunne, K. A. et Delworth, T. L., « Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate », *Nature*, 415 (6871), p. 514-17, 2002.
- Myers, N., « Environmental Refugees: A Growing Phenomenon of the 21st Century », *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 357 (1420), p. 609-13, 2002.
- Nations Unies, *Trends in Total Migrant Stock: The 2005 Revision*, New York, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, Division de la population, 2005.
- Nations Unies, *The State of the World's Refugees: Human Displacement in the New Millennium*, Oxford, Royaume-Uni, Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, 2006.
- Nations Unies, *Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contribution to the Implementation of the Hyogo Framework for Action*, Genève, Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies, 2007.
- Nations Unies, *State of the World's Cities 2008/9. Harmonious Cities*, Londres, Earthscan, 2008a.
- Nations Unies, *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision*, New York, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, Division de la population, 2008b.
- Nations Unies, *2009 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and Poverty in a Changing Climate*, Genève, Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies, 2009.
- NRC (National Research Council of the National Academies), *Facing Hazards and Disasters. Understanding Human Dimension*, Washington, DC, National Academies Press, 2006.
- NRC (National Research Council of the National Academies), *Contributions of Land Remote Sensing for Decisions about Food Security and Human Health*, Washington, DC, National Academies Press, 2007a.
- NRC (National Research Council of the National Academies), *Earth Science and Application from Space: National Imperatives for the Next Decade and Beyond*, Washington, DC, National Academies Press, 2007b.
- Nelson, D. R., Adger, W. N. et Brown, K., « Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework », *Annual Review of Environment and Resources*, 32, p. 395-419, 2007.
- Nelson, V., Meadows, K., Cannon, T., Morton, J. et Martin, A., « Uncertain Prediction, Invisible Impacts, and the Need to Mainstream Gender in Climate Change Adaptations », *Gender and Development*, 10 (2), p. 51-59, 2002.
- Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burkett, V., Woodroffe, C. D. et Hay, J., « Climate Change and Coastal Vulnerability Assessment: Scenarios for Integrated Assessment », *Sustainability Science*, 3 (1), p. 89-102, 2008.
- Nordås, R. et Gleditsch, N., « Climate Change and Conflict », *Political Geography*, 26 (6), p. 627-38, 2007.
- Olsson, P., Folke, C. et Berkes, F., « Adaptive Co-management for Building Resilience in Social-Ecological Systems », *Environmental Management*, 34 (1), p. 75-90, 2004.
- OMS (Organisation mondiale de la santé), *Health and Climate Change: The Now and How. A Policy Action Guide*, Genève, OMS, 2005.
- OMS (Organisation mondiale de la santé), *Protecting Health from Climate Change: World Health Day 2008*, Genève, OMS, 2008.
- Orlove, B. S., Chiang, J. H. et Cane, M. A., « Forecasting Andean Rainfall and Crop Yield from the Influence of El Niño on Pleiades Visibility », *Nature*, 403 (6765), p. 68-71, 2000.
- Ostrom, E., *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, New York, Cambridge University Press, 1990.
- Pahl-Wostl, C., « Transitions toward Adaptive Management of Water Facing Climate and Global Change », *Water Resources Management*, 21, p. 49-62, 2007.
- PAHO (Organisation panaméricaine de la santé), « Dengue », Washington, DC, http://new.paho.org/hq/index.php?option=com_content&task=view&id=264&Itemid=363 (consulté en juillet 2009), 2009.
- Parry, M., Canziani, O. F., Palutikof, J. P. et al., « Technical Summary », *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2007.
- Parsons, C. R., Skeldon, R., Walmsley, T. L. et Winters, L. A., « Quantifying International Migration: A Database of Bilateral Migrant Stocks », *Policy Research Working Paper* 4165, Banque mondiale, Washington, DC, 2007.
- Pelling, M., « What Determines Vulnerability to Floods: A Case Study in Georgetown, Guyana », *Environment and Urbanization*, 9 (1), p. 203-26, 1997.
- Pomeroy, R. S. et Pido, M. D., « Initiatives towards Fisheries Co-management in the Philippines: The Case of San Miguel Bay », *Marine Policy*, 19 (3), p. 213-26, 1995.

Portes, A. et Sensenbrenner, J., « Embeddedness and Immigration: Notes on the Social Determinants of Economic Actions », *American Journal of Sociology*, 98 (6), p. 13-20, 1993.

Programme mondial pour le climat, *Climate Services Crucial for Early Warning of Malaria Epidemics*, Genève, Programme mondial pour le climat, 2007.

Raadgever, G. T., Mostert, E., Kranz, N., Interwies, E. et Timmerman, J. G., « Assessing Management Regimes in Transboundary River Basins: Do They Support Adaptive Management », *Ecology and Society*, 13 (1), p. 14, 2008.

Rahmstorf, S., Cazenave, A., Church, J. A., Hansen, J. E., Keeling, R. F., Parker, D. E. et Somerville, R. C. J., « Recent Climate Observations Compared to Projections », *Science*, 316 (5825), p. 709, 2007.

Ranger, N., Muir-Wood, R. et Priya, S., « Assessing Extreme Climate Hazards and Options for Risk Mitigation and Adaptation in the Developing World », Étude de référence pour le RDM 2010, 2009.

Ravallion, M., « Bailing Out the World's Poorest », *Policy Research Working Paper 4763*, Banque mondiale, Washington, DC, 2008.

Ravallion, M., Chen, S. et Sangraula, P., « New Evidence on the Urbanization of Poverty », *Policy Research Working Paper 4199*, Banque mondiale, Washington, DC, 2007.

Repetto, R., « The Climate Crisis and the Adaptation Myth », *Yale School of Forestry and Environmental Studies Working Paper 13*, Yale University, New Haven, Connecticut, 2008.

Reuveny, R., « Climate Change Induced Migration and Violent Conflict », *Political Geography*, 26 (6), p. 656-73, 2007.

Ribot, J. C., « Vulnerability Does Not Just Fall from the Sky: Toward Multi-Scale Pro-Poor Climate Policy », *The Social Dimensions of Climate Change: Equity and Vulnerability in a Warming World*, sous la direction de R. Mearns et A. Norton, Washington, DC, Banque mondiale, à paraître.

Richmond, T., « The Current Status and Future Potential of Personalized Diagnostics: Streamlining a Customized Process », *Biotechnology Annual Review*, 14, p. 411-22, 2008.

Roberts, D., « Thinking Globally, Acting Locally: Institutionalizing Climate Change at the Local Government Level in Durban, South Africa », *Environment and Urbanization*, 20 (2), p. 521-37, 2008.

Robine, J.-M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P. et Herrmann, F. R., « Death Toll Exceeded 70,000 in Europe during the Summer of 2003 », *Comptes Rendus Biologies*, 331 (2), p. 171-78, 2008.

Rogers, D., Randolph, S. E., Snow, R. W. et Hay, S. I., « Satellite Imagery in the Study and Forecast of Malaria », *Nature*, 415 (6872), p. 710-15, 2002.

Rogers, E., *Diffusion of Innovations*, New York, Free Press, 1995.

Roman, A., « Curitiba, Brazil », *Encyclopedia of Earth—Environmental Information Coalition*, Washington, DC, National Council for Science and the Environment, 2008.

Satterthwaite, D., « The Social and Political Basis for Citizen Action on Urban Poverty Reduction », *Environment and Urbanization*, 20 (2), p. 307-18, 2008.

Satterthwaite, D., Huq, S., Pelling, M., Reid, A. et Lankao, R., *Adapting to Climate Change in Urban Areas: The Possibilities and Constraints in Low and Middle Income Countries*, Londres, International Institute for Environment and Development, 2007.

Seo, J.-K., « Balanced National Development Strategies: The Construction of Innovation Cities in Korea », *Land Use Policy*, 26 (3), p. 649-61, 2009.

Simms, A. et Reid, H., *Up in Smoke? Latin America and the Caribbean: The Threat from Climate Change to the Environment and Human Development*, Londres, Groupe de travail sur le changement climatique et le développement, International Institute for Environment and Development, New Economics Foundation, 2006.

Skees, J. R., « The Bad Harvest: Crop Insurance Reform Has Become a Good Idea Gone Awry », *Regulation*, 24 (1), p. 16-21, 2001.

Sobrevila, C., *The Role of Indigenous People in Biodiversity Conservation: The Natural but Often Forgotten Partners*, Washington, DC, Banque mondiale, 2008.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J. M., Hegerl, G. C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B. J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T. F., Whetton, P., Wood, R. A. et Wratt, D., « Technical Summary », *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, 2007.

Sorensen, N., van Hear, N. et Engberg-Pedersen, P., « Migration, Development and Conflict: State-of-the-Art Overview », *The Migration-Development Nexus*, sous la direction de N. van Hear et N. Sorensen, New York et Genève, Nations Unies et Organisation internationale pour les migrations, 2003.

Srinivasan, A., « Local Knowledge for Facilitating Adaptation to Climate Change in Asia and the Pacific: Policy Implications », *Working Paper 2004-002*, Institut pour les stratégies environnementales mondiales, Kanagawa, Japon, 2004.

Stringer, L. C., Dyer, J. C., Reed, M. S., Dougill, A. J., Twyman, C. et Mkwambisi, D., « Adaptations to Climate Change, Drought and Desertification: Local Insights to Enhance Policy in Southern Africa », *Environmental Science and Policy*, à paraître.

Swiss Re, « World Insurance in 2006: Premiums Came Back to Life », Zurich, Sigma, avril 2007.

Tebtebba Foundation, *Guide on Climate Change and Indigenous Peoples*, Baguio, Philippines, Tebtebba Foundation, 2008.

Theisen, O. M., « Blood and Soil? Resource Scarcity and Internal Armed Conflict Revisited », *Journal of Peace Research*, 45 (6), p. 801-18, 2008.

Tol, R. S. J., « Climate Change and Insurance: A Critical Appraisal », *Energy Policy*, 26 (3), p. 257-62, 1998.

Tompkins, E. L. et Adger, W. N., « Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change? », *Ecology and Society*, 9 (2), p. 10, 2004.

Tuñón, M., *Internal Labour Migration in China*, Pékin, Organisation internationale du travail, 2006.

Twomlow, S., Mugabe, F. T., Mwale, M., Delve, R., Nanja, D., Carberry, P. et Howden, M., « Building Adaptive Capacity to Cope with Increasing Vulnerability Due to Climatic Change in Africa: A New Approach », *Physics and Chemistry of the Earth*, 33 (8-13), p. 780-87, 2008.

UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'enfance), *Climate Change and Children: A Human Security Challenge*, Florence, UNICEF, 2008.

Vakis, R., « Complementing Natural Disasters Management: The Role of Social Protection », *Social Protection Discussion Paper* 0543, Banque mondiale, Washington, DC, 2006.

Walker, B., Gunderson, L. H., Kinzig, A., Folke, C., Carpenter, S. et Schultz, L., « A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems », *Ecology and Society*, 11 (1), p. 13, 2006.

Wang, R. et Yaping, Y. E., « Eco-city Development in China », *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 33 (6), p. 341-42, 2004.

Ward, R. E. T., Herweijer, C., Patmore, N. et Muir-Wood, R., « The Role of Insurers in Promoting Adaptation to the Impacts of Climate Change », *Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practice*, 33 (1), p. 133-39, 2008.

WBGU (German Advisory Council on Global Change), *Climate Change as a Security Risk*, Londres, Earthscan, 2008.

White, A. et Martin, A., *Who Owns the World's Forests? Forest Tenure and Public Forests in Transition*, Washington, DC, Forest Trends et Centre pour le droit environnemental international, 2002.

Wilbanks, T. J. et Kates, R. W., « Global Change in Local Places: How Scale Matters », *Climatic Change*, 43 (3), p. 601-28, 1999.

WRI (Institut des ressources mondiales), Programme des Nations Unies pour le développement, Programme des Nations Unies pour l'environnement et Banque mondiale, *World Resources 2008: Roots of Resilience: Growing the Wealth of the Poor*, Washington, DC, WRI, 2008.

Yip, S. C. T., « Planning for Eco-Cities in China: Visions, Approaches and Challenges », Étude présentée lors du 44^e Congrès de l'AIU, Pays-Bas, 2008.

La biodiversité et les services des écosystèmes face au changement climatique

La Terre abrite un enchevêtrement complexe de 3 millions à 10 millions d'espèces de plantes et d'animaux¹ et un nombre encore plus grand de micro-organismes. Pour la première fois dans l'histoire de la planète, une espèce – l'humanité – est en mesure de préserver ou détruire le fonctionnement même de cet ensemble². En apparence, seules quelques espèces jouent un rôle dans la vie quotidienne des êtres humains. Quelques dizaines d'espèces fournissent l'essentiel de leur nutrition de base : 20 % de leur apport en calories proviennent du riz³ et 20 % du blé⁴, tandis que quelques espèces de bovins, de volailles et de porcins fournissent 70 % des protéines animales. Seuls les 20 % de protéines animales provenant des poissons, mollusques et crustacés recèlent une grande variété d'espèces alimentaires⁵. On estime que les êtres humains s'approprient le tiers de l'énergie solaire convertie en matière végétale⁶.

Le bien-être de l'humanité dépend toutefois d'une multitude d'espèces dont les complexes interactions au sein d'écosystèmes efficaces ont pour effet de purifier l'eau, polliniser les fleurs, décomposer les déchets, préserver la fertilité des sols, réguler l'écoulement des eaux, amortir les phénomènes météorologiques extrêmes et satisfaire des besoins sociaux et culturels, parmi bien d'autres (encadré TB.1). Selon l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, 15 des 24 services écosys-

témiques examinés se dégradent ou sont utilisés de manière peu durable (tableau TB.1). Les principales causes de cette dégradation sont la modification de l'utilisation des sols (généralement au profit de l'agriculture et de l'aquaculture), un excès de nutriments et le changement climatique. Les effets de la dégradation se concentrent sur certaines régions, et les populations pauvres en sont les premières victimes, car leur survie dépend le plus directement des services des écosystèmes⁷.

Menaces sur la biodiversité et les services des écosystèmes

Depuis environ deux siècles, l'espèce humaine joue un rôle prédominant dans une des phases les plus intenses de disparition d'espèces sur la planète. En s'appropriant une grande partie des flux énergétiques à travers le réseau trophique et en modifiant la composition de la couverture des sols au profit des espèces les plus rentables, elle a multiplié dans un rapport allant de 100 à 1 000 le rythme de la disparition des espèces par rapport à la situation qui prévalait avant que l'homme ne domine la Terre⁸. Durant les dernières décennies, les humains ont pris conscience de leur impact sur la biodiversité et des menaces qui lui sont liées. La plupart des pays possèdent des programmes de protection de la diversité biologique (d'une efficacité variable) et plusieurs traités et accords internationaux coordonnent la mise en œuvre de mesures visant à ralentir ou stopper l'appauvrissement de la biodiversité.

L'évolution du climat fait peser une menace supplémentaire. Dans le passé, la biodiversité terrestre s'est adaptée aux changements climatiques – y compris aux changements rapides – par le biais de migrations ou de disparitions d'espèces ainsi qu'en exploitant les possibilités offertes à de nouvelles espèces. Cependant, le rythme du changement qui se poursuivra au cours du siècle à venir, quelles que soient les mesures prises pour atténuer l'évolution du climat, sera bien supérieur à celui des changements passés, si l'on

ENCADRÉ TB.1 Qu'est-ce que la biodiversité ? Que sont les services des écosystèmes ?

La biodiversité est la variété de toutes les formes de vie, notamment des gènes, des populations, des espèces et des écosystèmes. Elle sous-tend les services fournis par les écosystèmes et présente une valeur pour les usages présents et de possibles usages futurs (valeurs d'option), ainsi qu'une valeur intrinsèque. Le nombre d'espèces est souvent utilisé comme indicateur de la diversité d'une zone, bien qu'il ne reflète que partiellement la diversité génétique et la complexité des interactions écosystémiques. Il existe entre 5 millions et 30 millions d'espèces sur la Terre ; la plupart sont des micro-organismes et seulement environ 1,75 million d'espèces ont été formellement identifiées. Les deux tiers de la diversité biologique se trouvent dans les régions tropicales ; en Équateur, on a constaté qu'une parcelle de 25 hectares abritait davantage d'essences d'arbres qu'il n'en existe dans l'ensemble des États-Unis et du Canada

et plus de la moitié du nombre d'espèces de mammifères et d'oiseaux vivant dans ces deux pays.

Les services procurés par les écosystèmes sont des processus ou des fonctions présentant une valeur pour les individus ou la société. L'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire décrit cinq grandes catégories de services écosystémiques : les services d'approvisionnement, tels que la production de nourriture et d'eau ; les services de régulation, tels que la maîtrise du climat et des maladies ; les services de soutien, tels que le cycle des éléments nutritifs et la pollinisation des cultures ; les services culturels, tels que les bienfaits spirituels et récréatifs ; et les services de préservation, tels que la protection de la diversité.

Sources : Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, 2005 ; Kraft, Valencia et Ackerly 2008 ; Gitay *et al.* 2002.

Tableau TB.1 Évaluation de l'évolution récente de la situation générale des principaux services fournis par les écosystèmes

| Service | Sous-catégorie | Situation | Notes |
|---|--------------------------|-----------|---|
| Service d'approvisionnement | | | |
| Nourriture | Cultures | ↑ | Augmentation substantielle de la production |
| | Élevage | ↑ | Augmentation substantielle de la production |
| | Pêche de capture | ↓ | Baisse de la production due à la surpêche |
| | Aquaculture | ↑ | Augmentation substantielle de la production |
| | Nourritures sauvages | ↓ | Baisse de la production |
| Fibres | Bois d'œuvre | +/- | Diminution des forêts dans certaines régions, augmentation dans d'autres |
| | Coton, chanvre, soie | +/- | Baisse de la production de certaines fibres, augmentation pour d'autres |
| | Bois de feu | ↓ | Baisse de la production |
| Ressources génétiques | | ↓ | Pertes par extinction et perte de ressources génétiques des cultures |
| Produits biochimiques, médicaments naturels, produits pharmaceutiques | | ↓ | Pertes par extinction et surexploitation de la ressource |
| Eau douce | | ↓ | Utilisation non viable des ressources pour l'eau de boisson, l'industrie et l'irrigation ; volume d'énergie hydraulique inchangé, mais les barrages augmentent la capacité à utiliser cette énergie |
| Services de régulation | | | |
| Régulation de la qualité de l'air | | ↓ | Diminution de la capacité de l'atmosphère à se purifier |
| Régulation du climat | Niveau mondial | ↑ | Au plan mondial, les écosystèmes sont une source nette de séquestration de carbone depuis le milieu du siècle |
| | Niveau régional et local | ↓ | Prépondérance des impacts négatifs (par exemple, l'évolution de la couverture des sols peut influencer sur la température et les précipitations locales) |
| Régulation de l'eau | | +/- | Varie suivant l'évolution et l'emplacement des écosystèmes |
| Régulation de l'érosion | | ↓ | Aggravation de la dégradation du sol |
| Purification de l'eau et traitement des déchets | | ↓ | Dégradation de la qualité de l'eau |
| Régulation des maladies | | +/- | Varie suivant les changements des écosystèmes |
| Régulation des parasites | | ↓ | Contrôle naturel dégradé par l'utilisation des pesticides |
| Pollinisation | | ↓ | Diminution apparente au niveau mondial de l'abondance de pollinisateurs |
| Régulation des risques naturels | | ↓ | Perte de tampons de protection naturels (zones humides, mangroves) |
| Services culturels | | | |
| Valeurs spirituelles et religieuses | | ↓ | Forte diminution des bois et espèces sacrés |
| Valeurs esthétiques | | ↓ | Déclin en quantité et en qualité des milieux naturels |
| Récréation et écotourisme | | +/- | Davantage de zones sont accessibles mais beaucoup sont dégradées |

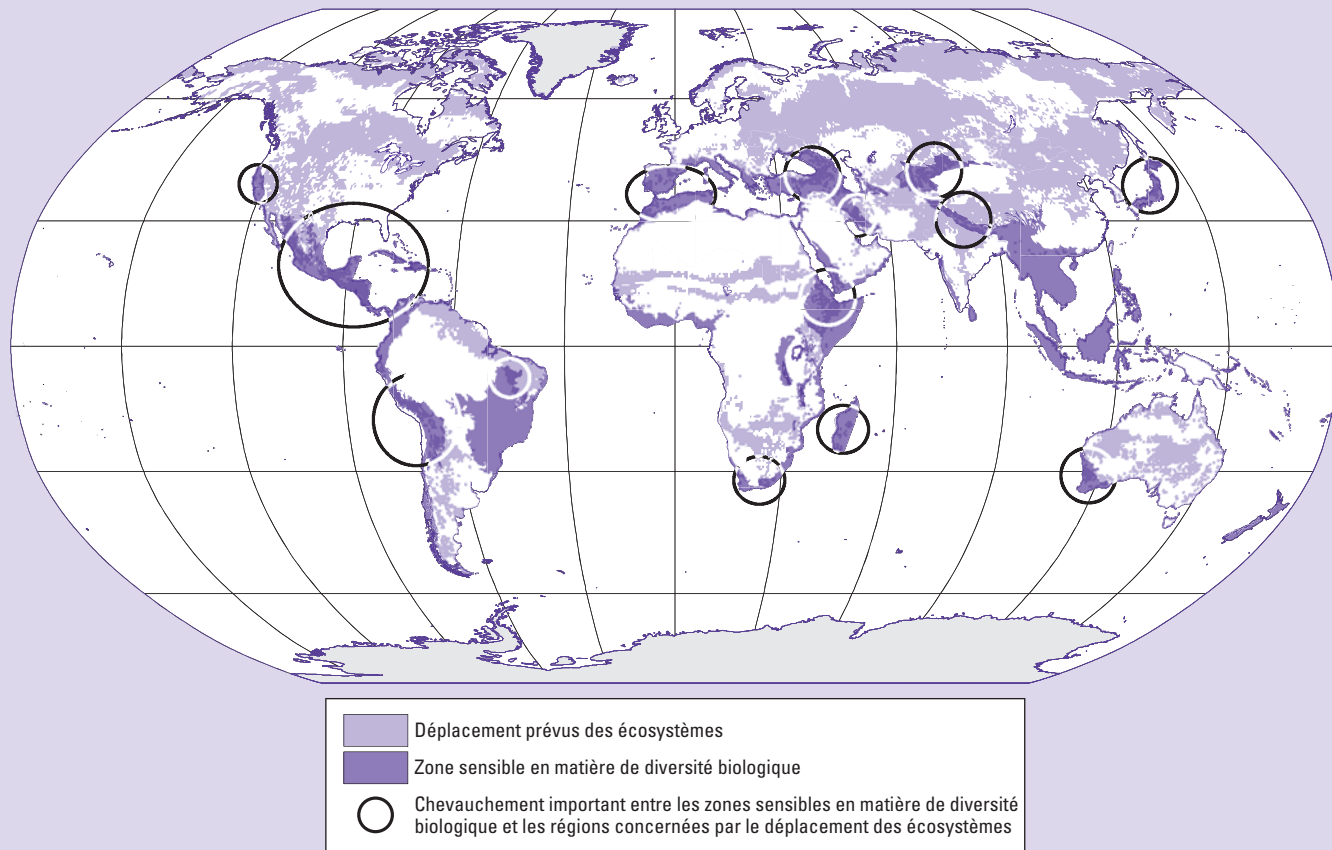
Source : Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, 2005.

fait abstraction d'épisodes catastrophiques de disparition d'espèces tels que les impacts de météorite majeurs. Par exemple, le rythme de migration des essences forestières au début et à la fin de la période glaciaire la plus récente, il y a environ 10 000 ans, est évalué à environ 0,3-0,5 kilomètre

par an. Cette fourchette ne représente que le dixième de la vitesse des changements qui se produiront dans les zones climatiques durant le siècle à venir⁹. Certaines espèces migreront assez rapidement pour prospérer dans de nouveaux endroits, mais de nombreuses autres ne parviendront pas

à s'adapter, surtout dans les paysages fragmentés de notre époque, et bon nombre d'entre elles ne survivront pas au bouleversement de la composition des écosystèmes dont s'accompagnera le changement climatique (carte TB.1). Selon les meilleures estimations de disparitions d'espèces, environ 10 %

Carte TB.1 Une grande partie des changements prévus dans les écosystèmes se situe dans des régions boréales et des zones désertiques qui ne sont pas considérées comme des zones sensibles en matière de diversité biologique, mais il existe encore d'importantes zones de chevauchement et sources de préoccupation



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base de Myers *et al.* (2000) et Fischlin *et al.*, 2007.

Note : La carte décrit le chevauchement entre les zones sensibles en matière de diversité biologique – caractérisées par une concentration exceptionnelle d'espèces endémiques souffrant d'une perte d'habitat hors du commun (Conservation International et Myers *et al.* 2000) –, ainsi que les changements prévus dans les écosystèmes terrestres d'ici à 2100 par rapport à 2000, tels qu'ils sont présentés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat dans Fischlin *et al.* (2007), graphique 4.3 (a), p. 238. Les changements ne doivent être considérés que comme une indication de l'ampleur possible des modifications écosystémiques et comprennent les gains et pertes en matière de couvert forestier, de prairies, de terres arbustives, de terrains boisés, de tapis herbacés et d'amélioration des déserts.

des espèces seront condamnés à disparaître à chaque fois que la température augmentera de 1 °C¹⁰, et un nombre encore plus grand sera menacé d'un déclin important¹¹.

Les efforts déployés pour atténuer le changement climatique par des activités terrestres peuvent contribuer à préserver la biodiversité et les services des écosystèmes ou, au contraire, les menacer davantage. Il est possible d'accroître les stocks de carbone dans le sol et sur le sol grâce au reboisement et à la remise en végétation, ainsi que par le biais de pratiques agricoles telles que la culture basée sur un faible travail du sol. Ces activités peuvent créer des paysages complexes et variés propices à la biodiversité, mais des mesures d'at-

ténuation mal conçues, telles que le défrichage de forêts et d'autres surfaces boisées pour produire des biocarburants, peuvent aller à l'encontre des deux objectifs. Les grands barrages peuvent avoir de multiples effets positifs grâce à l'irrigation et la production d'énergie, mais ils peuvent aussi menacer la diversité biologique en provoquant des inondations directes ou en transformant radicalement le débit des fleuves en aval et les écosystèmes qui en dépendent.

Que peut-on faire ?

La préservation de la diversité biologique dans le contexte du changement climatique nécessite un réaménagement des priorités, ainsi qu'un mode de

gestion actif et évolutif. Dans certains endroits, la gestion active consistera à poursuivre l'amélioration de la protection de l'environnement face aux interventions humaines, tandis que dans d'autres la conservation des ressources naturelles demandera une intervention en faveur des espèces et des processus qui régissent les écosystèmes plus marquée et plus directe que les mesures actuelles. Dans tous les cas, les richesses de la biodiversité doivent être sérieusement prises en compte – dans le contexte du changement climatique et des usages concurrentiels des ressources terrestres et maritimes.

Il faudra pour cela adopter une démarche permettant d'anticiper en permanence la façon dont les écosys-

tèmes réagiront au changement climatique tout en subissant l'influence d'autres agents de modification de l'environnement. Certaines espèces disparaîtront, d'autres survivront et certaines migreront et formeront de nouvelles combinaisons d'espèces. Comme il ne sera jamais possible d'anticiper complètement et parfaitement ces changements, les mesures de gestion devront s'inscrire dans un cadre souple et évolutif.

La disparition de certaines espèces est inévitable, et il sera peut-être nécessaire d'en protéger d'autres dans les jardins botaniques, les parcs zoologiques ou les banques de semences. Il est essentiel d'identifier les espèces majeures participant à la fourniture de services écosystémiques et, si nécessaire, de les gérer activement. La gestion proactive des terres et des mers dans le contexte du changement climatique est un exercice relativement nouveau et mal défini. Le recensement de mesures de gestion réalistes est un domaine où l'information fait défaut : il sera nécessaire de procéder à d'importants échanges de connaissances et de meilleures pratiques et de renforcer sensiblement les capacités.

Réserves de protection de l'environnement

Toute expansion ou modification des zones prioritaires de préservation de la biodiversité (réserves de protection de l'environnement) doit prendre en compte les variables liées à l'altitude, à la latitude, à l'humidité et aux sols. Les projets d'expansion ou de modification des réserves de protection de l'environnement risquent de provoquer des conflits entre les différentes priorités concernant l'affectation des terrains et les ressources dans le cadre de la gestion de la diversité biologique (faudra-t-il, par exemple, utiliser les fonds disponibles pour financer l'acquisition de terres ou plutôt une gestion active de l'habitat ?). De puissants outils permettent d'optimiser l'affectation des terrains pour atteindre les objectifs de protection de l'environ-

nement recherchés tout en conciliant des impératifs concurrents¹².

Toutefois, les zones protégées ne peuvent pas à elles seules résoudre le problème du changement climatique. Le réseau de réserves de protection de l'environnement a rapidement augmenté au cours des dix dernières années pour couvrir environ 12 % des terres émergées de la planète¹³, mais il ne suffit toujours pas à protéger la diversité biologique. Compte tenu des pressions démographiques et des conflits d'utilisation des sols, un accroissement sensible des zones protégées est improbable. Cela signifie que les terres attenantes aux zones qui présentent une valeur et des priorités élevées en matière de préservation de l'environnement (la matrice environnementale) et les personnes chargées de gérer ces terres ou qui en dépendent détermineront de plus en plus l'avenir des espèces dans un contexte de changement climatique.

En matière de protection de la biodiversité, il sera plus nécessaire que jamais de disposer de stratégies plus souples prenant en compte les intérêts de divers groupes sociaux. À ce jour, ce sont les organisations non gouvernementales et les administrations centrales qui ont été les plus actives dans la création de zones protégées. Il faudra faire participer un large éventail de gestionnaires, de propriétaires et de parties prenantes concernés par les terres et les eaux aux partenariats de gestion afin d'atteindre le degré de souplesse nécessaire à la préservation la biodiversité. Il faudra peut-être accorder des incitations et des compensations à ces intervenants pour conserver une matrice capable de fournir un refuge et des couloirs de déplacement aux espèces. Parmi les solutions possibles figurent les paiements au titre de services environnementaux, les « banques d'habitats »¹⁴ et l'approfondissement de « démarches d'accès aux ressources axées sur les droits » telles que celles qui ont été adoptées dans le domaine de la pêche.

Planification et gestion de la biodiversité

Il convient d'élaborer un plan visant à gérer activement la viabilité des écosystèmes face au changement climatique pour l'ensemble des terres et des eaux protégées et les zones d'habitat importantes, composé des éléments ci-après :

- Des plans de gestion intelligents sur le plan climatique pour faire face aux facteurs de stress majeurs, tels que les incendies, les parasites et les charges en nutriments.
- Des mécanismes décisionnels et des déclencheurs permettant de modifier les priorités de la gestion face au changement climatique. Par exemple, si une zone de préservation de la biodiversité est touchée en un court laps de temps par deux incendies qui rendent improbable le rétablissement de l'habitat et des valeurs dans leur état antérieur, il conviendra de mettre en œuvre un programme visant à gérer activement la transition vers une autre structure d'écosystèmes.
- L'intégration dans les plans des droits, des intérêts et des contributions des peuples autochtones et d'autres populations directement tributaires des terres et des eaux concernées.

Une planification énergique de ce type est rare, même dans le monde développé¹⁵. Confronté au réchauffement rapide de ses régions septentrionales, le Canada a adopté une gestion proactive en matière de changement climatique¹⁶. D'autres pays ont énoncé quelques-uns des principes fondamentaux de la gestion proactive : prévision des changements ; gestion de la biodiversité régionale, notamment des zones protégées et de leurs alentours ; définition de priorités à l'appui des prises de décisions pour faire face aux inévitables changements¹⁷. Dans de nombreuses régions du monde, cependant, la gestion de base de la biodiversité reste insuffisante. En 1999, l'Union internationale pour la conservation de la nature a conclu que moins du quart

des zones protégées de dix pays en développement étaient correctement gérées et que plus de 10 % étaient déjà fortement dégradées¹⁸.

Gestion communautaire de la protection de la biodiversité

Il est possible de mettre en œuvre les programmes de gestion communautaire de la préservation de la diversité biologique à une échelle beaucoup plus grande. Ces programmes visent à renforcer les droits d'utilisation et la gestion des ressources naturelles par les populations locales en permettant aux populations les plus proches de ces ressources, qui supportent déjà le coût de la protection de la biodiversité (la destruction des cultures par les animaux sauvages, par exemple), de bénéficier aussi de ses avantages. Ces programmes ne sont toutefois pas une panacée, et la conception de programmes efficaces exige davantage d'efforts.

La participation des populations locales est la condition sine qua non de la réussite des activités de protection de la biodiversité dans les pays en développement, mais les exemples de succès durables (tels que la collecte d'œufs de tortue au Costa Rica et au Brésil) sont rares¹⁹. Il apparaît clairement que les facteurs suivants ont contribué à la réussite de certains programmes au plan régional, tels que les activités axées sur les espèces sauvages en Afrique australe : stabilité politique, ressources de grande valeur (faune emblématique), économies solides favorisant une utilisation des ressources axée sur l'extérieur (activités relevant notamment du tourisme et du safari), faible densité démographique, gouvernance locale de qualité et politiques publiques offrant un système de protection sociale qui soulage les populations durant les années de vaches maigres. Dans certains pays, les pauvres ne bénéficient généralement pas de retombées positives même quand ces conditions sont remplies²⁰.

Gestion des écosystèmes marins

Une gestion des terres efficace a aussi des effets bénéfiques sur les écosys-

tèmes marins. La sédimentation et l'eutrophisation causées par les eaux de ruissellement réduisent la résistance d'écosystèmes marins tels que les récifs coralliens²¹. La valeur économique de ces récifs est souvent plus grande que celle de l'agriculture pratiquée sur les terres qui altèrent leur intégrité²².

En ce qui concerne la pêche, les principaux outils de gestion de la diversité biologique sont la gestion écosystémique des ressources halieutiques²³, la gestion intégrée des zones côtières (notamment les zones marines protégées)²⁴ et des mesures contraignantes de coopération internationale poursuivies dans le cadre du droit de la mer²⁵. La pêche est jugée être en crise et la mauvaise gestion des ressources halieutiques est mise en cause. Toutefois, les impératifs fondamentaux de la gestion de ces ressources sont connus²⁶. Le changement climatique peut relancer les efforts de réforme, notamment en réduisant la surcapacité de la flotte et en ramenant l'effort de pêche à des niveaux tolérables²⁷. Il convient de mettre en œuvre une stratégie d'exploitation durable, qui évalue l'exploitation des stocks par rapport à des niveaux de référence établis compte tenu des incertitudes et du changement climatique²⁸. Une des principales difficultés est de traduire les objectifs stratégiques en mesures opérationnelles propices à une gestion durable des ressources halieutiques²⁹.

Rémunération des services des écosystèmes

La rémunération des services des écosystèmes est considérée depuis un certain temps comme une façon efficace et équitable d'obtenir de nombreux résultats dans le domaine de la préservation de la biodiversité et de la fourniture de ces services. Elle peut prendre diverses formes : la rémunération des gestionnaires des terres situées en amont des cours d'eau pour qu'ils gèrent les bassins versants de manière à protéger des services écosystémiques tels que l'écoulement des eaux propres ; le partage des bénéfices engendrés par les réserves de chasse avec les propriétaires terriens voisins dont les terres sont endommagées par le gibier ; et, plus récemment, la rémunération des propriétaires terriens pour les inciter à maintenir ou accroître les stocks de carbone sur leurs terres. L'encadré TB.2 donne des exemples de services de préservation de la biodiversité et de piégeage du carbone.

Parce que les paiements sont effectués uniquement lors de la fourniture d'un service, l'expérience passée indique que les mécanismes financés par les utilisateurs sont généralement mieux adaptés aux besoins locaux, mieux suivis et mieux appliqués que des programmes similaires financés par les pouvoirs publics³⁰.

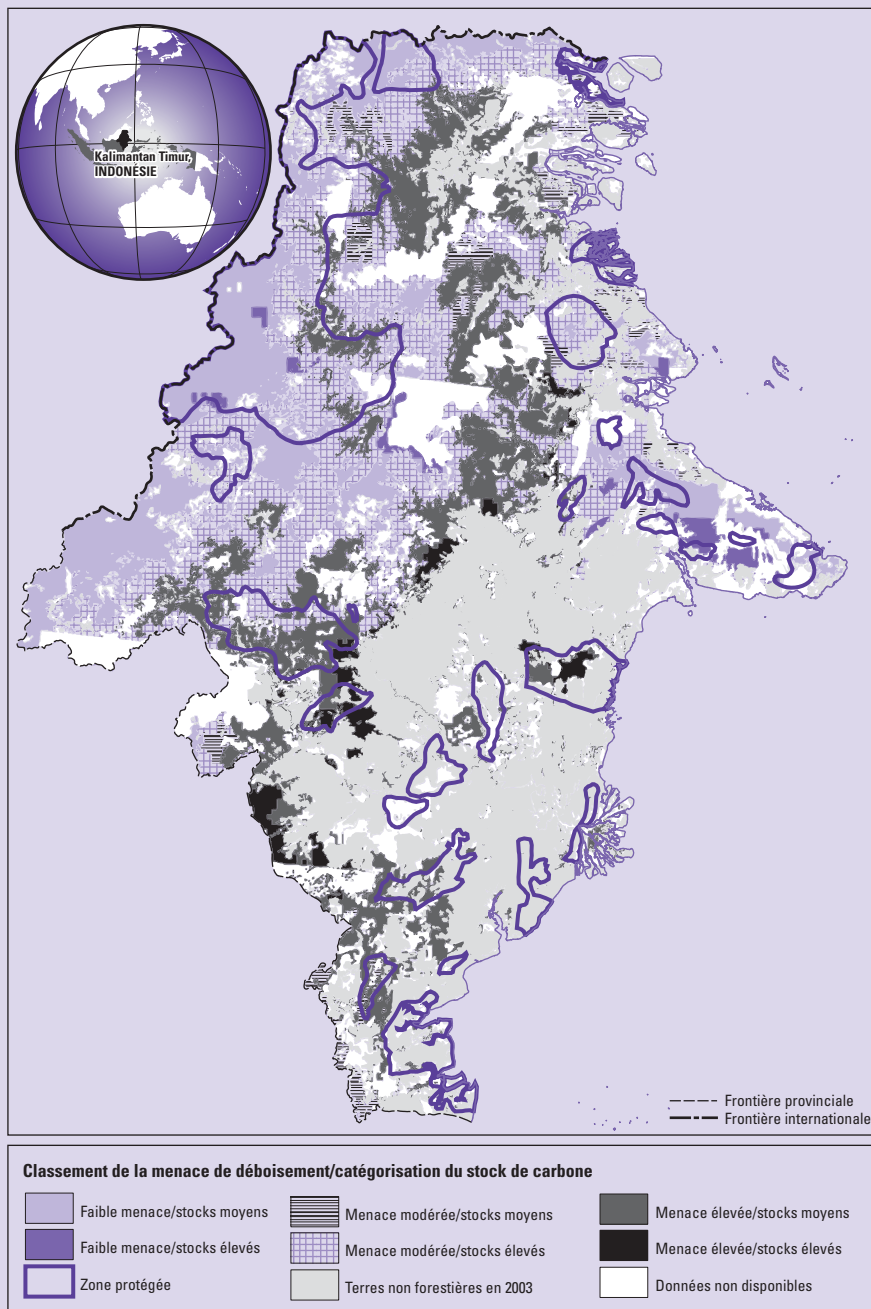
ENCADRÉ TB.2 Rémunération des services des écosystèmes et des services d'atténuation

Parmi les programmes de rémunération réussis figurent le projet de conservation des sols en Moldova et le programme de protection des oiseaux et des bassins versants de la vallée de Los Negros en Bolivie, – tous deux financés par le Fonds biocarbone de la Banque mondiale. En Moldova, 20 000 hectares de terrains agricoles publics et communaux, endommagés et érodés, font l'objet d'un reboisement, ce qui contribue à atténuer l'érosion et à alimenter les communautés locales en produits forestiers. Le projet devrait permettre de piéger environ

2,5 millions de tonnes d'équivalent dioxyde de carbone d'ici à 2017. En Bolivie, les agriculteurs voisins du parc national d'Amoró sont rémunérés pour protéger un bassin versant sur lequel se trouve une forêt de brouillard abritant 11 espèces d'oiseaux migrateurs, – une initiative qui a des effets positifs à la fois sur la biodiversité locale et sur l'approvisionnement en eau durant la saison sèche.

Source : Unité des crédits carbone de la Banque mondiale.

Carte TB.2 Le mécanisme REDD devrait profiter en priorité aux zones non protégées fortement menacées par la déforestation et abritant d'importants stocks de carbone.



Sources : Brown *et al.*, 1993 ; Harris *et al.*, 2009.

Note : Une étude réalisée récemment dans la région du Kalimantan oriental (Indonésie) à l'aide de GEOMOD et d'une base de données sur les stocks de carbone des forêts tropicales indonésiennes a permis de recenser les zones les plus propices aux activités liées à l'initiative REDD. La carte qui en résulte met en évidence les zones fortement menacées par le déboisement qui abritent aussi des stocks de carbone élevés. La superposition des zones protégées existantes ou proposées permet aux décideurs d'orienter les ressources financières et les efforts de protection vers les zones où il est possible d'obtenir le maximum de résultats dans le cadre d'un mécanisme REDD (à savoir les zones en noir – menace élevée/stocks de carbone élevés – qui ne se situent pas dans les zones protégées existantes).

Le Programme de réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) examiné par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques offre une possibilité appréciable d'accorder des paiements supplémentaires en faveur de la préservation de la biodiversité et de l'amélioration de la gestion des terres. REDD vise à atténuer les émissions de carbone en récompensant financièrement les pays qui luttent contre le déboisement et la dégradation du patrimoine forestier. Ces paiements pourraient s'inscrire dans un mécanisme de marché établi dans le cadre du renforcement du processus du Mécanisme pour un développement propre ; il pourrait s'agir aussi de rémunérations versées hors marché par un nouveau mécanisme de financement qui n'empiète pas sur les mécanismes de réduction des émissions de carbone. S'agissant de REDD, la difficulté se trouve dans la mise en œuvre, question examinée plus en détail au chapitre 6.

REDD pourrait avoir un effet significatif à la fois sur la préservation de la biodiversité et sur l'atténuation du changement climatique s'il permet de protéger les zones riches en diversité biologique qui possèdent d'importants stocks de carbone et sont fortement menacées par la déforestation. Les techniques nécessaires pour identifier ces zones existent et peuvent servir à orienter l'affectation des ressources financières (carte TB.2)³¹.

Pour faire face efficacement à l'évolution de l'impact et aux usages concurrentiels des écosystèmes dans le contexte du changement climatique, les pouvoirs publics doivent mettre en œuvre des politiques, des mesures et des incitations solides, adaptées à la situation locale, pour modifier des comportements existant depuis longtemps, parfois illégaux. Comme ces mesures iront à l'encontre de certaines préférences locales, il est essentiel de trouver un équilibre entre la réglementation et les incitations. REDD peut offrir des avantages aux habitants des

ENCADRÉ TB.3 *Extraits de la Déclaration des populations autochtones sur le changement climatique*

« Toutes les initiatives prises au titre de l'Initiative de réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) doivent reconnaître et respecter les droits des peuples autochtones, notamment la sécurité des régimes fonciers, la reconnaissance des titres fonciers en vertu des usages traditionnels, les usages et lois coutumières et les bénéfices multiples des forêts pour le climat, les écosystèmes et les populations avant que toute action soit prise » (Article 5).

« Nous demandons un financement approprié et direct dans les États développés et en développement ainsi que la création d'un fonds pour permettre la participation totale et effective des peuples autochtones à tous les processus liés au climat, notamment les activités d'adaptation, d'atténuation et de suivi, ainsi que le transfert de technologies appropriées, de façon à promouvoir notre autonomisation,

le renforcement des capacités et l'éducation. Nous insistons auprès des instances compétentes des Nations-Unies pour qu'elles facilitent et financent la participation, l'éducation et le renforcement des capacités de la jeunesse et des femmes autochtones pour garantir leur engagement dans tous les processus internationaux et internationaux liés au changement climatique » (Article 7).

« Nous offrons de partager avec l'humanité notre savoir traditionnel, nos innovations et pratiques concernant le changement climatique, si nos droits fondamentaux en tant que gardiens de ce savoir à travers les générations sont pleinement reconnus et respectés. Nous réaffirmons qu'il est urgent d'entreprendre une action collective » (Dernier paragraphe). Cette déclaration a été publiée à l'occasion du sommet mondial des peuples autochtones qui s'est tenu à Anchorage le 24 avril 2009.

forêts et aux communautés locales, mais certaines conditions devront être remplies pour que ces avantages se concrétisent. Les peuples autochtones, par exemple, ne tireront probablement pas parti de REDD si leur identité et leurs droits ne sont pas reconnus et s'ils ne disposent pas de droits de propriété sur leurs terres, territoires et ressources (encadré TB.3). L'expérience tirée des initiatives de gestion communautaire des ressources naturelles montre que la participation des populations locales, notamment les peuples autochtones, au suivi collectif des ressources naturelles permet de recueillir à peu de frais des données locales exactes sur l'évolution de la biomasse forestière et des ressources naturelles.

Adaptation basée sur l'écosystème

Les mesures d'adaptation « dures », telles que les murs de protection du littoral, les digues fluviales et les

barrages destinés à réguler le débit des rivières, sont autant de menaces pour la diversité biologique³². En matière d'adaptation, il est souvent possible d'obtenir des résultats en améliorant la gestion des écosystèmes plutôt qu'en procédant à des interventions physiques et techniques ; par exemple, les zones tampons que forment les écosystèmes côtiers peuvent amortir les ondes de tempête plus efficacement que les murs de protection. D'autres solutions consistent, d'une part, à gérer les bassins hydrologiques et les plaines inondables pour réguler le régime des fleuves en aval, d'autre part à mettre en place des agroécosystèmes à l'épreuve du changement climatique et à introduire le pastoralisme en terres arides pour produire des moyens de subsistance durables.

L'adaptation reposant sur l'écosystème vise à renforcer la résistance et réduire la vulnérabilité des populations au changement climatique grâce

à la préservation, la régénération et la gestion des écosystèmes. Intégrée à une stratégie d'adaptation globale, cette démarche peut contribuer efficacement à l'adaptation au changement climatique tout en ayant des effets positifs pour la société.

Outre leurs avantages directs en matière d'adaptation, les mesures d'adaptation à l'échelon de l'écosystème peuvent avoir des effets positifs indirects sur les populations, la biodiversité et l'atténuation du changement climatique. Par exemple, la régénération des mangroves destinée à protéger contre les ondes de tempête peut aussi créer de nouvelles possibilités dans le domaine de la pêche et contribuer au piégeage du carbone. Les activités d'adaptation axées sur l'écosystème sont souvent davantage à la portée des pauvres, des femmes et d'autres groupes vulnérables vivant en milieu rural que les mesures basées sur l'infrastructure et l'ingénierie. À l'image des méthodes d'adaptation basées sur les communautés locales, l'adaptation à l'échelle de l'écosystème tire efficacement parti des connaissances et des besoins locaux.

L'adaptation reposant sur l'écosystème peut nécessiter de privilégier certains services écosystémiques au détriment d'autres. Ainsi, l'utilisation des zones humides pour la protection du littoral peut-elle exiger que l'on mette l'accent sur l'accumulation et la stabilisation du limon, au détriment de la faune et des loisirs. La stabilisation des versants à l'aide d'épais massifs d'arbustes est une méthode efficace d'adaptation écosystémique à l'intensification des précipitations due au changement climatique. Durant les périodes sèches souvent associées à la variabilité croissante des régimes pluviométriques résultant de l'évolution du climat, les versants peuvent toutefois être vulnérables aux feux de friches qui détruisent les arbustes et compromettent de façon désastreuse les efforts d'adaptation. Il convient donc d'évaluer l'adaptation à l'échelle

de l'écosystème en fonction des risques et du rapport coût-efficacité.

Notes

- 1 McGinley 2007.
- 2 Vitousek *et al.* 1999.
- 3 Fitzgerald, McCouch et Hall 2009.
- 4 Brown 2002.
- 5 OMS et FAO 2009.
- 6 Haberl 1997.
- 7 Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire 2005.
- 8 Lawton et May 1995.
- 9 England *et al.* (2004) ont calculé que le rythme annuel moyen du retrait des glaciers était de 0,1 kilomètre il y a environ 8 000 ans durant la dernière période glaciaire, ce qui a eu une incidence sur la vitesse à laquelle les espèces pouvaient migrer en direction du pôle.
- 10 Convention sur la diversité biologique 2009 ; Fischlin *et al.* 2007.
- 11 Foden *et al.* 2008.
- 12 Bode *et al.* 2008 ; Joseph, Maloney et Possingham 2008 ; McCarthy et Possingham 2007.
- 13 UNEP-WCMC 2008.
- 14 Il s'agit d'un système d'échange de terrains dont la protection représente un intérêt particulier. Certains propriétaires de terrains de ce type décideront de les placer dans une « banque d'habitats ». S'il se révèle nécessaire d'endommager des terres similaires dans d'autres endroits, afin, par exemple, de construire une route, les promoteurs du projet devront acheter à cette banque les droits de terrains présentant une valeur équivalente du point de vue de la préservation de l'environnement.
- 15 Heller et Zavaleta 2009.
- 16 Welch 2005.
- 17 Hannah *et al.* 2002 ; Hannah, Midgley et Miller 2002.
- 18 Dudley et Stolton 1999.
- 19 Campbell, Haalboom et Trow 2007.
- 20 Bandyopadhyay et Tembo 2009.
- 21 Smith, Gilmour et Heyward 2008.
- 22 Gordon 2007.
- 23 FAO 2003 ; FAO 2005 ; Stiansen *et al.* 2005.
- 24 Halpern 2003 ; Harmelin-Vivien *et al.* 2008.
- 25 Lodge *et al.* 2007.
- 26 Cunningham et Bostock 2005.
- 27 OCDE 2008 ; Banque mondiale 2008.
- 28 Beddington, Agnew et Clark 2007.
- 29 FAO 2003 ; FAO 2005 ; ICES 2008a ; ICES 2008b.

- 30 Wunder, Engel et Pagiola 2008.
- 31 Brown *et al.* 1993 ; Harris *et al.* 2009.
- 32 Cette section s'appuie sur des données préparées par le Groupe ad hoc technique d'experts sur la biodiversité et les changements climatiques (2009) pour la Convention sur la diversité biologique et la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

Bibliographie

- Bandyopadhyay, S. et G. Tembo, « Household Welfare and Natural Resource Management around National Parks in Zambia », Policy Research Working Paper Series 4932, Banque mondiale, Washington DC, 2009.
- Banque mondiale, *The Sunken Billions: The Economic Justification for Fisheries Reform*, Banque mondiale et FAO, Washington DC, 2008.
- Beddington, J. R., D. J. Agnew et C. W. Clark, « Current Problems in the Management of Marine Fisheries », *Science*, 316 (5832): 1713-16, 2007.
- Bode, M., K. A. Wilson, T. M. Brooks, W. R. Turner, R. A. Mittermeier, M. F. McBride, E. C. Underwood et H. P. Possingham, « Cost-Effective Global Conservation Spending Is Robust to Taxonomic Group », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (17): 6498-501, 2008.
- Brown, S., L. R. Iverson, A. Prasad et L. Dawning, « Geographical Distribution of Carbon in Biomass and Soils of Tropical Asian Forests », *Geocarto International*, 4: 45-59, 1993.
- Brown, T. A., *Genomes*, John Wiley & Sons, Oxford, 2002.
- Campbell, L. M., B. J. Haalboom et J. Trow, « Sustainability of Community-Based Conservation: Sea Turtle Egg Harvesting in Ostional (Costa Rica) Ten Years Later », *Environmental Conservation*, 34 (2): 122-31, 2007.
- CIEM (Conseil international pour l'exploration de la mer), *ICES Advice Book 9: Widely Distributed and Migratory Stocks*, ICES Advisory Committee, Copenhague, 2008a.
- , *ICES Insight Issue No. 45*, ICES, Copenhague, 2008b.
- Convention sur la diversité biologique, *Draft Findings of the Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*, Convention sur la diversité biologique, Montréal, 2009.
- Cunningham, S. et T. Bostock, *Successful Fisheries Management. Issues, Case Studies and Perspectives*, Eburon Academic Publishers, Delft, 2005.
- Dudley, N. et S. Stolton, « Conversion of Paper Parks to Effective Management: Developing a Target », étude présentée lors de l'Atelier commun du Projet d'innovations forestières de l'UICN/WWF et devant la Commission mondiale des aires protégées, en association avec l'Alliance Banque mondiale / WWF et la campagne « Des forêts pour la vie », Turrialba, 14 juin 1999.
- England, J. H., N. Atkinson, A. S. Dyke, D. J. A. Evans et M. Zreda, « Late Wisconsinan Buildup and Wastage of the Innuitian Ice Sheet across Southern Ellesmere Island, Nunavut », *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41 (1): 39-61, 2004.
- Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, *Les Écosystèmes et le bien-être humain : synthèse*, World Resources Institute Washington DC, 2005.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), « The Ecosystem Approach to Fisheries: Issues, Terminology, Principles, Institutional Foundations, Implementation and Outlook », Fisheries Technical Paper 443, FAO, Rome, 2004.
- , *Putting Into Practice the Ecosystem Approach to Fisheries*, FAO, Rome, 2005.
- Fischlin, A., G. F. Midgley, J. T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M. D. A. Rounsevell, O. P. Dube, J. Tarazona et A. A. Velichko, « Ecosystems, Their Properties, Goods and Services », in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Van der Linden et C. E. Hanson, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2007.
- Fitzgerald, M. A., S. R. McCouch et R. D. Hall, « Not Just a Grain of Rice: The Quest for Quality », *Trends in Plant Science*, 14 (3): 133-39, 2009.
- Foden, W., G. Mace, J.-C. Vie, A. Angulo, S. Butchart, L. DeVantier, H. Dublin, A. Gutsche, S. Stuart et E. Turak, « Species Susceptibility to Climate Change Impacts », in *The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species*, sous la direction de J.-C. Vie, C. Hilton-Taylor et S. N. Stuart,

Union internationale pour la conservation de la nature, Gland, 2008.

Gitay, H., A. Suarez, R. T. Watson et D. J. Dokken (eds), *Climate Change and Biodiversity*, étude technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, secrétariat du GIEC, Genève, 2002.

Gordon, I. J., « Linking Land to Ocean: Feedbacks in the Management of Socio-Ecological Systems in the Great Barrier Reef Catchments », *Hydrobiologia*, 591 (1): 25-33, 2007.

Haberl, H., « Human Appropriation of Net Primary Production as an Environmental Indicator: Implications for Sustainable Development », *Ambio*, 26 (3): 143-46, 1997.

Halpern, B. S., « The Impact of Marine Reserves: Do Reserves Work and Does Reserve Size Matter? », *Ecological Applications*, 13 (1): S117-37, 2003.

Hannah, L., T. Lovejoy, G. Midgley, W. Bond, M. Bush, J. Lovett, D. Scott et F. I. Woodward, « Conservation of Biodiversity in a Changing Climate », *Conservation Biology*, 16 (1): 264-68, 2002.

Hannah, L., G. Midgley et D. Miller, « Climate Change-Integrated Conservation Strategies », *Global Ecology and Biogeography*, 11 (6): 485-95, 2002.

Harmelin-Vivien, M., L. Le Direach, J. Bayle-Sempere, E. Charbonnel, J. A. Garcia-Charton, D. Ody, A. Perez-Ruzafa, O. Renones, P. Sanchez-Jerez et C. Valle, « Gradients of Abundance and Biomass across Reserve Boundaries in Six Mediterranean Marine Protected Areas: Evidence of Fish Spillover? », *Biological Conservation*, 141 (7): 1829-39, 2008.

Harris, N. L., S. Petrova, F. Stolle et S. Brown, « Identifying Optimal Areas for

REDD Intervention: East Kalimantan, Indonesia, as a Case Study », *Environmental Research Letters*, 3:035006, doi:10.1088/1748-9326/3/3/035006, 2009.

Heller, N. E. et E. S. Zavaleta, « Biodiversity Management in the Face of Climate Change: A Review of 22 Years of Recommendations », *Biological Conservation*, 142 (1): 14-32, 2009.

Joseph, L. N., R. F. Maloney et H. P. Possingham, « Optimal Allocation of Resources among Threatened Species: A Project Prioritization Protocol », *Conservation Biology*, 23 (2): 328-38, 2008.

Kraft, N. J. B., R. Valencia et D. D. Ackerly, « Functional Traits and Niche-Based Tree Community Assembly in an Amazonian Forest », *Science*, 322 (5901): 580-82, 2008.

Lawton, J. H. et R. M. May, *Extinction Rates*, Oxford University Press, Oxford, 1995.

Lodge, M. W., D. Anderson, T. Lobach, G. Munro, K. Sainsbury et A. Willock, *Recommended Best Practices for Regional Fisheries Management Organizations*, Chatham House pour le Royal Institute of International Affairs, Londres, 2007.

McCarthy, M. A. et H. P. Possingham, « Active Adaptive Management for Conservation », *Conservation Biology*, 21 (4): 956-63, 2007.

McGinley, M., *Species Richness*, Encyclopedia of Earth – Environmental Information Coalition, National Council for Science and Environment, Washington DC, 2007.

Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca et J. Kent, « Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities », *Nature*, 403: 853-58, 2000.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), *Recommendation of the Council on the Design*

and Implementation of Decommissioning Schemes in the Fishing Sector, OCDE, Paris, 2008.

OMS et FAO (Organisation mondiale de la Santé et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), « Global and Regional Food Consumption Patterns and Trends », in *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases*, OMS et FAO, Genève et Rome, 2009.

PNUE-WCMC (Programme des Nations Unies pour l'Environnement – World Conservation Monitoring Center), *State of the World's Protected Areas 2007: An Annual Review of Global Conservation Progress*, PNUE-WCMC, Cambridge (Royaume-Uni), 2008.

Smith, L. D., J. P. Gilmour et A. J. Heyward, « Resilience of Coral Communities on an Isolated System of Reefs following Catastrophic Mass-Bleaching », *Coral Reefs*, 27 (1): 197-205, 2008.

Stiansen, J. E., B. Bogstad, P. Budgell, P. Dalpadado, H. Gjosaeter, K. Hiis Hauge, R. Ingvaldsen, H. Loeng, M. Mauritzen, S. Mehl, G. Ottersen, M. Skogen et E. K. Stenevik, *Status Report on the Barents Sea Ecosystem 2004-2005*, Institute of Marine Research (IMR), Bergen, 2005.

Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco et J. M. Melillo, « Human Domination of Earth's Ecosystems », *Science*, 277 (5325): 494-99, 1999.

Welch, D., « What Should Protected Area Managers Do in the Face of Climate Change? », *The George Wright Forum*, 22 (1): 75-93, 2005.

Wunder, S., S. Engel et S. Pagiola, « Taking Stock: A Comparative Analysis of Payments for Environmental Services Programs in Developed and Developing Countries », *Ecological Economics*, 65 (4): 834-52, 2008.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records in a business setting. It highlights how proper record-keeping can help in decision-making, legal compliance, and financial management. The text emphasizes that records should be organized, up-to-date, and easily accessible.

Next, the document addresses the challenges of data management in the digital age. It notes that while digital storage offers convenience, it also introduces risks such as data loss, security breaches, and information overload. Solutions like cloud storage, encryption, and regular backups are suggested to mitigate these risks.

The third section focuses on the role of technology in streamlining business processes. It describes how automation and software solutions can reduce manual errors, save time, and improve overall efficiency. Examples include using accounting software for invoicing and project management tools for task delegation.

Finally, the document concludes by stressing the importance of employee training and awareness. It suggests that investing in education and providing clear guidelines can ensure that all staff members understand the correct procedures for handling data and records, leading to a more professional and organized business environment.



Gérer les terres et l'eau pour nourrir neuf milliards d'êtres humains et protéger les systèmes naturels

Le changement climatique a déjà un impact sur les systèmes naturels et exploités – forêts, zones humides, récifs coralliens, agriculture, pêcheries – dont l'humanité est tributaire pour sa nourriture, ses combustibles, ses fibres et de nombreux autres services. Il réduira les rendements agricoles dans beaucoup de régions, de sorte qu'il sera plus difficile de satisfaire les besoins alimentaires croissants de la planète. Le changement climatique survient alors même que la concurrence pour les terres, les ressources en eau, la biodiversité, les ressources halieutiques et autres ressources naturelles, s'intensifie. Dans le même temps, les sociétés humaines

seront en butte à des pressions qui viseront à réduire les 30 % des émissions de gaz à effet de serre générés par l'agriculture, le déboisement, le changement d'affectation des terres et la dégradation des forêts.

Pour faire face à des impératifs concurrents et réduire sa vulnérabilité au changement climatique, le monde devra concilier deux objectifs : produire davantage à partir de ses ressources naturelles, et protéger ces dernières. Cela signifie gérer les ressources en eau, les terres, les forêts, les pêcheries et la biodiversité de manière plus efficace pour pouvoir obtenir les produits et les services dont l'humanité a besoin sans plus porter atteinte à ces ressources en les surexploitant, en les détruisant et en les polluant.

Il faudra utiliser l'eau de manière plus rationnelle. Pour cela, les gestionnaires doivent réfléchir à l'échelle des bassins versants et trouver des moyens efficaces et souples de répartir les ressources en eau entre des impératifs quantitatifs et qualitatifs concurrents – les besoins des populations humaines (énergie, agriculture, pêche, consommation urbaine...) et ceux des écosystèmes (forêts, zones humides, océans...).

Les pays doivent tirer mieux parti de leur agriculture. La progression des rendements des principales denrées agricoles se ralentit depuis les années 60. Il sera impératif d'inverser cette tendance pour que la planète puisse satisfaire à ses besoins alimentaires dans le contexte du changement climatique. Les modèles varient, mais tous montrent la nécessité d'un fort accroissement de la

Idée force

Le changement climatique accroîtra encore la difficulté que présente la production de denrées alimentaires en quantités suffisantes pour nourrir une population mondiale en expansion ; il modifiera aussi le volume et la qualité des ressources en eau ainsi que le moment où elles sont disponibles. Pour éviter d'empiéter sur des écosystèmes déjà perturbés, les sociétés humaines devront pratiquement doubler le taux de croissance de la productivité agricole tout en réduisant dans toute la mesure du possible les atteintes à l'environnement associées à un tel doublement. Il faudra, pour cela, consacrer des efforts résolus au déploiement de pratiques connues mais peu utilisées, identifier des variétés culturales capables de résister à des chocs climatiques, diversifier les moyens de subsistance des populations rurales, améliorer la gestion des forêts et des pêcheries, et investir dans des systèmes d'information. Les pays devront coopérer pour gérer des ressources en eau partagées et améliorer le commerce des produits alimentaires. Il sera important de mettre en place des politiques de base performantes, mais aussi de s'appuyer sur de nouvelles technologies et pratiques. Les incitations financières pourront jouer un rôle utile. Certains pays réaffectent au financement d'actions environnementales des fonds jusque-là consacrés aux subventions agricoles ; par ailleurs, l'attribution à une date future de crédits au titre du carbone stocké dans les forêts et dans le sol pourrait promouvoir des réductions d'émissions et la réalisation des objectifs de préservation.

productivité¹. Or cet accroissement ne pourra pas se faire aux dépens des terres, des ressources en eau et de la biodiversité, comme cela a été si souvent le cas par le passé. Les pays vont donc devoir accélérer leur effort de recherche, renforcer les services de vulgarisation et améliorer les infrastructures des marchés pour amener les produits jusqu'à ces derniers. Mais il leur faudra aussi offrir des incitations aux agriculteurs pour les encourager à réduire les émissions de carbone générées par le travail du sol et le déboisement. Et ils devront aider ces mêmes agriculteurs à se prémunir contre les incertitudes climatiques en diversifiant leurs sources de revenus et les caractères génétiques des cultures, et à mieux intégrer la biodiversité dans le paysage agricole.

Une agriculture intelligente sur le plan climatique passera par une meilleure gestion de la biodiversité, à savoir l'intégration des habitats naturels dans les paysages ruraux, la protection des zones humides et le maintien des réservoirs d'eau que sont les aquifères. Les pays ont de plus en plus recours à des techniques qui améliorent la productivité du sol et de l'eau. Mais ces innovations ne porteront leurs fruits que si les décisions prises sont fondées sur une analyse intersectorielle solide et seulement si les utilisateurs reçoivent des incitations appropriées – des stratégies, des institutions et du marché.

Les ressources naturelles s'arrêtent rarement aux frontières politiques. Par suite du changement climatique qui complique la gestion des ressources, et la croissance démographique qui accroît les pressions exercées au niveau de la demande, les pays vont devoir coopérer bien plus étroitement pour gérer les eaux, les forêts et les pêcheries internationales. Il se tourneront tous, plus souvent, vers le marché agricole international et bénéficieront donc d'un certain nombre de mesures – qu'elles concernent la gestion des stocks, l'adoption de méthodes de passation des marchés plus concurrentielles, ou la logistique douanière ou portuaire – permettant d'accroître la fiabilité et l'efficacité du commerce des denrées alimentaires.

Le changement climatique accroît aussi l'importance que revêt la disponibilité d'informations sur les ressources naturelles. Ces dernières – traditionnelles et nouvelles, internationales et locales – seront d'un grand intérêt dans un contexte climatique plus variable et incertain, où les enjeux sont plus élevés et la prise de décisions plus complexe. Elles appuient la gestion des ressources, la production de denrées alimentaires et les échanges. Lorsque les sociétés humaines produisent des informations fiables sur leurs ressources et peuvent les transmettre à des personnes en mesure de les utiliser, que ce soit dans le cadre de la gestion des bassins versants internationaux ou dans les travaux des champs, celles-ci peuvent prendre des décisions en meilleure connaissance de cause.

Beaucoup de ces approches n'ont rien de nouveau : elles sont préconisées de longue date dans les études consacrées aux ressources naturelles, mais la lenteur avec laquelle elles sont mises en œuvre est pour le moins décevante. Elles pour-

raient toutefois bénéficier d'un regain d'intérêt pour trois raisons liées au changement climatique. Premièrement, tout porte à croire que les prix des denrées alimentaires augmenteront par suite de l'accroissement du nombre de chocs climatiques et de la progression de la demande. Cette hausse des prix devrait stimuler l'innovation de manière à accroître la productivité. Deuxièmement, il pourrait être possible d'étendre la portée du marché du carbone afin de pouvoir rémunérer les agriculteurs qui stockent du carbone dans leurs sols, ce qui les encouragerait à préserver les forêts et à adopter des techniques culturales plus durables. Les techniques requises ne sont pas encore éprouvées à l'échelle souhaitée, mais cette approche a un immense potentiel et présente en outre d'importants avantages concernant la productivité agricole et la réduction de la pauvreté. Sous réserve d'un prix du carbone suffisamment élevé, les réductions des émissions générées, à l'échelle mondiale, dans le secteur agricole pourraient être aussi importantes que dans le secteur de l'énergie (voir Abrégé, encadré 8)². Troisièmement, les pays pourraient modifier la structure de leur appui à l'agriculture. Les pays riches consacrent 258 milliards de dollars par an au soutien de leur secteur agricole³, et plus de la moitié de ce montant est accordé sur la base, uniquement, du volume de production ou des intrants utilisés. Bien qu'il soit difficile d'agir en ce domaine sur le plan politique, certains pays commencent à modifier les conditions de ces subventions afin d'encourager la poursuite à grande échelle de pratiques intelligentes sur le plan climatique.

Ce chapitre examine tout d'abord ce qui peut être fait au niveau national pour augmenter la productivité de l'agriculture et de la pêche tout en protégeant mieux les ressources naturelles. Il passe ensuite en revue ce qui peut être fait pour soutenir les actions nationales, en mettant plus particulièrement l'accent sur la coopération internationale et le rôle essentiel de l'information tant au niveau mondial que local. Enfin, il montre la manière dont pourrait évoluer le cadre incitatif pour accélérer la mise en œuvre de pratiques bénéfiques et aider les sociétés humaines à concilier la nécessité de produire davantage et celle de mieux protéger les ressources naturelles.

Poser les bases d'une bonne gestion des ressources naturelles

Les études qui recommandent de renforcer les cadres stratégique et institutionnel ayant un impact sur la manière dont les populations gèrent l'agriculture, l'aquaculture et des écosystèmes sains, abondent. Plusieurs mesures peuvent améliorer la productivité dans tous les secteurs et protéger en même temps la santé de l'environnement à long terme. Aucune ne peut avoir d'effet si elle est prise indépendamment de toute autre : chacune de ces mesures a besoin d'être appuyée par les autres pour produire des résultats, et toute modification apportée à l'une d'elles peut avoir des ramifications dans l'ensemble du système.

Plusieurs thèmes se retrouvent quels que soient le secteur, le climat et le groupe de revenu considérés.

- *Des outils décisionnels novateurs* permettent aux utilisateurs de déterminer les répercussions de différentes actions sur les ressources naturelles.

Les activités de recherche et développement qui produisent des nouvelles technologies et les adaptent aux conditions locales peuvent améliorer la gestion des ressources, de même que les *services de conseil* qui aident les utilisateurs à mieux connaître les options disponibles.

Les droits de propriété donnent aux utilisateurs des ressources l'incitation requise pour les protéger ou investir dans ces dernières.

- *Une tarification des ressources* reflétant leur pleine valeur favorise une utilisation rationnelle de ces ressources.
- *Des marchés bien réglementés* sont nécessaires à beaucoup de fonctions liées à l'agriculture ou aux ressources naturelles ; les infrastructures revêtent aussi une importance cruciale en donnant aux producteurs facilement accès à ces marchés.
- Il est important que des *institutions solides* puissent définir et appliquer la réglementation.

L'information, à tous les niveaux, permet aux utilisateurs et aux gestionnaires de faire de meilleurs choix.

Ces éléments fondamentaux valent aussi bien pour les ressources en eau que pour l'agriculture ou la pêche, comme le montre ce chapitre.

L'exemple des agriculteurs de la vallée de l'Oub Er Rbia, au Maroc, permet de comprendre comment ces facteurs agissent sur les incitations d'une communauté. Des ingénieurs ont conçu un système faisable d'irrigation au goutte-à-goutte, qui permettrait à ces agriculteurs d'accroître leurs revenus avec l'eau qu'ils reçoivent (en augmentant leurs rendements ou en passant à des cultures à plus forte valeur ajoutée). Des économistes ont déterminé que ce système sera rentable. Des hydrologues ont calculé la quantité d'eau qu'ils pouvaient raisonnablement allouer à ces agriculteurs sans compromettre la satisfaction des besoins environnementaux. Des sociologues ont rencontré les agriculteurs et déterminé que 80 % de ces derniers souhaitaient investir dans cette technologie. Des spécialistes du marketing ont contacté des entreprises agro-industrielles qui sont disposées à acheter le produit des nouvelles cultures. Les pouvoirs publics sont prêts à payer une bonne part des dépenses. Malgré cela, il s'avère incroyablement difficile d'aller de l'avant.

Investir dans des canalisations neuves et modernes pour faire venir de l'eau d'un barrage ne sera rentable que si une majorité d'agriculteurs mettent en place le système d'irrigation au goutte-à-goutte dans leurs champs. Mais les agriculteurs ne verseront pas d'acompte pour l'achat du système d'irrigation avant d'être certains que les nouvelles canalisations seront effectivement posées et amèneront bien l'eau. Ils ont également besoin d'informations sur la manière d'uti-

liser les nouveaux systèmes. L'office d'irrigation, chargé de conseiller les agriculteurs, s'apprête à sous-traiter les services de conseil à des entreprises privées. Il va devoir trouver ces entreprises, conclure un accord avec elles et assurer leur supervision – autant de tâches qui demandent des compétences très différentes. Et ces nouveaux conseillers devront également obtenir la confiance des agriculteurs.

La sélection des denrées que les agriculteurs cultivent est en partie déterminée par le soutien accordé par l'État aux prix du sucre et du blé, soutien qui réduit l'intérêt que peuvent présenter d'autres cultures, telles que les fruits et légumes, qui ont une plus forte valeur ajoutée. Si les accords commerciaux internationaux permettaient de mieux garantir l'existence de débouchés fiables pour les nouvelles cultures, les agriculteurs pourraient se décider à changer de cultures. Mais sans routes en bon état, sans transports réfrigérés et sans installations de conditionnement ultramodernes, les fruits et les légumes pourriront avant d'arriver à destination.

Si les nouveaux services de conseil sont efficaces, les agriculteurs apprendront à augmenter leurs revenus en cultivant des fruits et des légumes pour l'exportation. Les services de vulgarisation les aideront aussi à s'organiser et à travailler avec les acheteurs européens. De nouvelles infrastructures (un poste de pesage fiable, une chambre froide) leur permettront de prendre le risque de changer de cultures. Si les agriculteurs peuvent obtenir des informations qu'ils jugent fiables sur les conséquences de leurs actions sur leurs nappes phréatiques, ils décideront peut-être d'un commun accord d'utiliser l'eau de manière plus responsable. Si l'organisme chargé de gérer un bassin versant dispose de nouveaux outils de planification, il pourra répartir l'eau de manière plus rationnelle sur la base des priorités concurrentes de différents utilisateurs, y compris l'environnement. À long terme, de nouvelles mesures qui auront pour effet d'établir le prix du carbone du sol ou de modifier l'allocation des ressources en eau pourraient inciter les agriculteurs à utiliser d'autres techniques de gestion du sol. Chaque élément du processus est réalisable et, à terme, profitera à chacun des intervenants. Le problème consiste à coordonner l'ensemble des actions nécessaires au niveau de toutes les institutions impliquées, et de persister à vouloir mener à son terme une opération demandant beaucoup de temps.

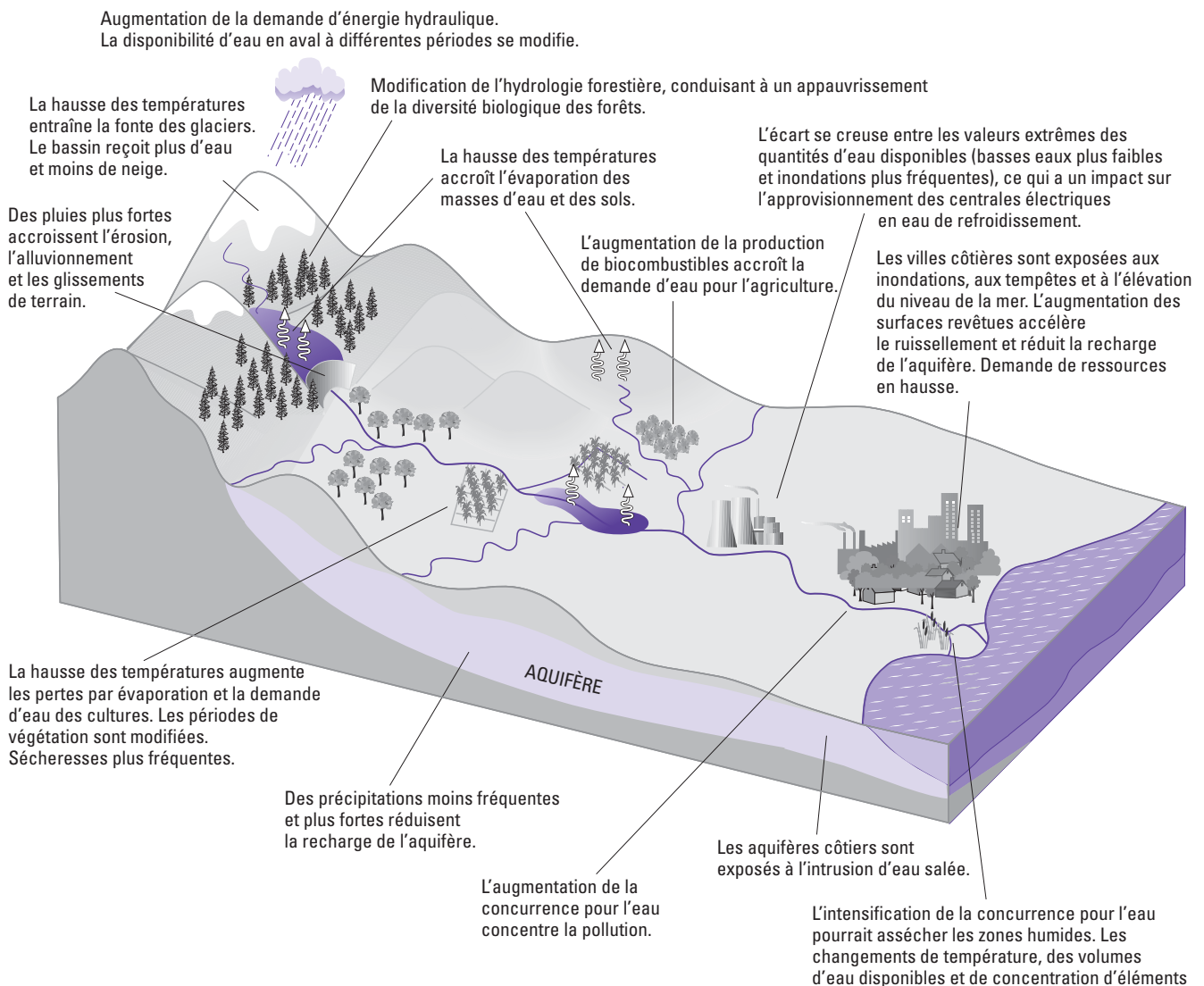
Il est impossible de gérer les ressources naturelles indépendamment des autres, en particulier dans le contexte du changement climatique. Il importe d'adopter de nouvelles manières de procéder pour replacer l'eau, l'agriculture, les forêts et la pêche dans un contexte plus large où les réalisations sont toutes interdépendantes. Dans certaines régions, les agriculteurs ont commencé à modérer leur consommation d'engrais pour protéger les écosystèmes aquatiques, et les gestionnaires des pêcheries étudient comment l'imposition de limites au volume des captures d'une espèce pourra

avoir un impact sur les captures d'autres espèces. Ces outils de gestion rentrent dans le cadre d'approches désignées de diverses manières (gestion écosystémique, gestion intégrée de la fertilité des sols, gestion évolutive, pour n'en citer que quelques-unes). Ils ont toutefois tous un point commun : ils coordonnent une plus large gamme de variables (des paysages plus vastes, des périodes plus longues, l'apprentissage par l'expérience) que les méthodes traditionnelles. Ils accordent également une grande importance à la nécessité de disposer d'informations fiables sur les ressources exploitées afin que les recommandations soient adaptées, spécifiques au site visé, et modulables en fonction de l'évolution de la situation. En augmentant la variabilité du climat, le changement climatique rendra les réactions des écosystèmes moins prévisibles ; les gestionnaires des ressources devront pallier cette incertitude en établissant des plans « robustes »,

qui prennent en compte les effets potentiels de différentes actions dans de multiples conditions.

La gestion évolutive (telle que décrite au chapitre 2) devra être appliquée à tous les niveaux de la gestion des ressources. Les agriculteurs pourront surveiller l'état de leurs terres pour adapter précisément l'emploi d'engrais aux conditions locales (terres, eau, climat et cultures), sans porter atteinte aux écosystèmes. Les populations rurales pourront décider des cultures qu'elles planteront en fonction des quantités d'eau qu'elles peuvent extraire sans risque des nappes phréatiques, d'une année à l'autre, pour conserver l'eau de l'aquifère à titre d'assurance contre la sécheresse. Et les responsables de l'action publique pourront utiliser des outils de prise de décision robuste pour négocier des accords internationaux de partage des ressources plus solides. Ce chapitre décrit de manière précise comment employer de nouveaux

Figure 3.1 Le changement climatique dans un bassin versant type se fera sentir tout au long du cycle hydrologique



Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde d'après Banque mondiale, à paraître d ; Bates et al. 2008.

outils et de nouvelles technologies pour gérer les ressources en eau, l'agriculture et les pêcheries, et préconise la poursuite d'une démarche systémique pour faire face au changement climatique globalement dans ces trois domaines.

Mieux exploiter et mieux protéger les ressources en eau

Le changement climatique va accroître la difficulté de la gestion des ressources en eau de la planète

Les effets du changement climatique se feront sentir à bien des égards au niveau de l'eau.

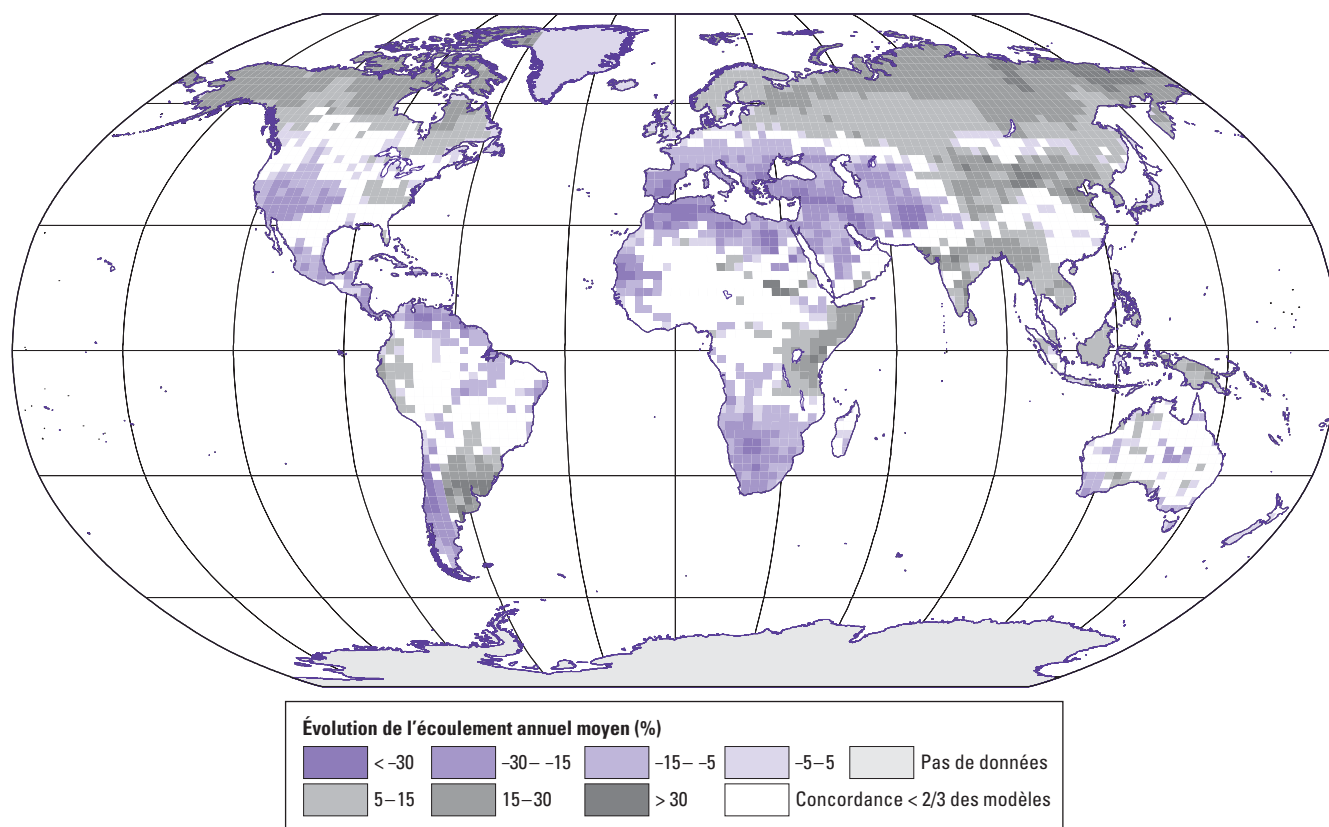
Le cycle de l'eau sera touché dans son intégralité (figure 3.1). Si, globalement, le monde doit devenir plus humide parce que le réchauffement climatique accélérera le cycle hydrologique, l'augmentation de l'évaporation va aussi accroître la prévalence de conditions de sécheresse (carte 3.1). Dans la plupart des régions, les précipitations seront plus intenses et plus variables, et seront souvent entrecoupées de périodes sèches plus longues (carte 3.2)⁴. Cette évolution aura des répercussions généralisées sur les activités humaines et

les systèmes naturels. Les régions actuellement tributaires des glaciers et de la fonte des neiges auront davantage de ressources en eau douce dans un premier temps, mais celles-ci s'amenuiseront au fil des ans⁵. Il est possible que les changements interviennent si rapidement et de manière si imprévisible que les pratiques agricoles et de gestion de l'eau traditionnelles cesseront de produire des résultats. C'est déjà le cas au Pérou, dans la Cordillère Blanche, où les conditions ont évolué si vite que les pratiques agricoles traditionnelles des populations autochtones sont mises en échec. Les pouvoirs publics et des scientifiques commencent à collaborer avec ces populations pour tenter de trouver de nouvelles solutions⁶.

Il faudra améliorer nos connaissances sur les ressources en eau de la planète afin de pouvoir mieux la gérer.

Pour bien gérer les ressources en eau, il est essentiel de connaître la quantité d'eau disponible dans chaque bassin ainsi que ses différentes utilisations. Cela n'est toutefois pas aussi simple qu'il y paraît. Ainsi que le note le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau publié

Carte 3.1 Les projections des quantités d'eau disponibles indiquent un changement radical d'ici le milieu du ^{xxi} siècle dans de nombreuses régions du monde

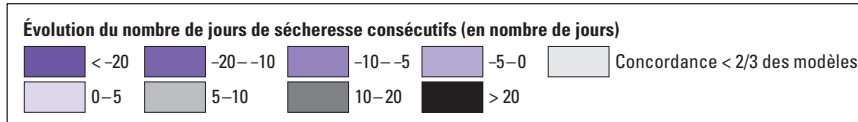
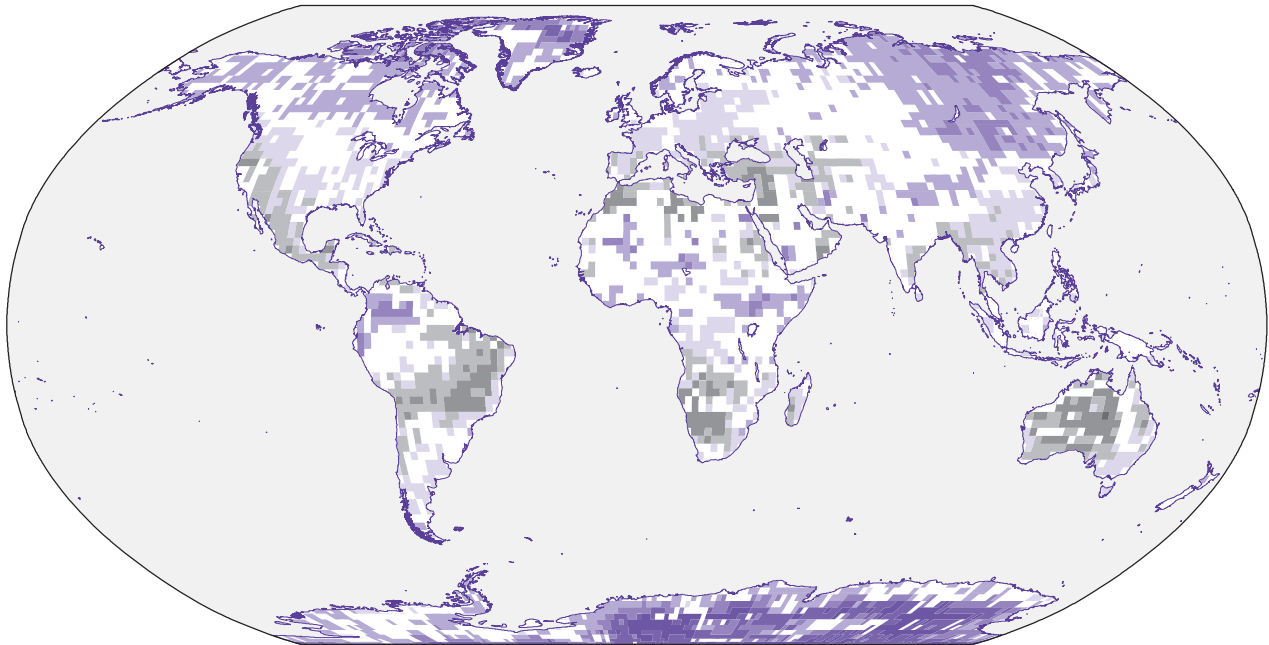


Sources : Milly *et al.* 2008 ; Milly, Dunne, et Vecchia 2005.

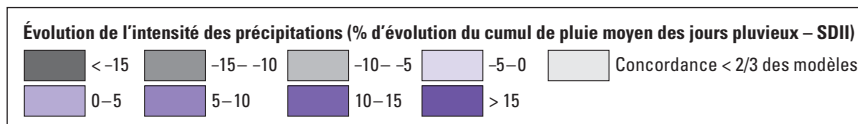
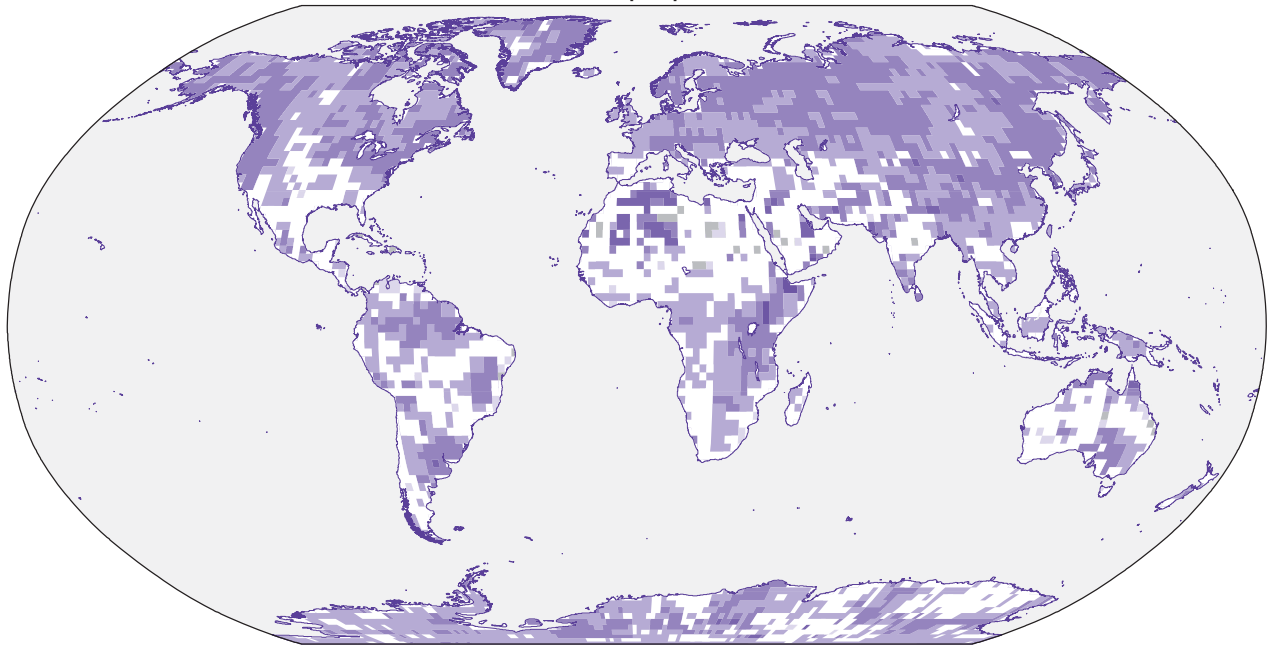
Note : Les couleurs indiquent l'évolution en pourcentage des valeurs des écoulements annuels (sur la base de la médiane de 12 modèles climatiques mondiaux utilisés avec le scénario A1B du RSSE établi par le GIEC) entre les périodes 2041-2060 et 1900-1970. Les zones blanches correspondent aux régions pour lesquelles moins des deux tiers des modèles s'accordent à indiquer une augmentation ou une diminution des écoulements. L'écoulement est égal aux précipitations moins l'évaporation, mais les valeurs indiquées ici sont des moyennes annuelles, qui peuvent masquer une variabilité saisonnière des précipitations, par exemple l'augmentation à la fois des inondations et des sécheresses.

Carte 3.2 Le monde va connaître à la fois des périodes de sécheresse plus longues et des épisodes de précipitations plus intenses

a. Des périodes sèches plus longues



b. Des chutes de pluie plus intenses

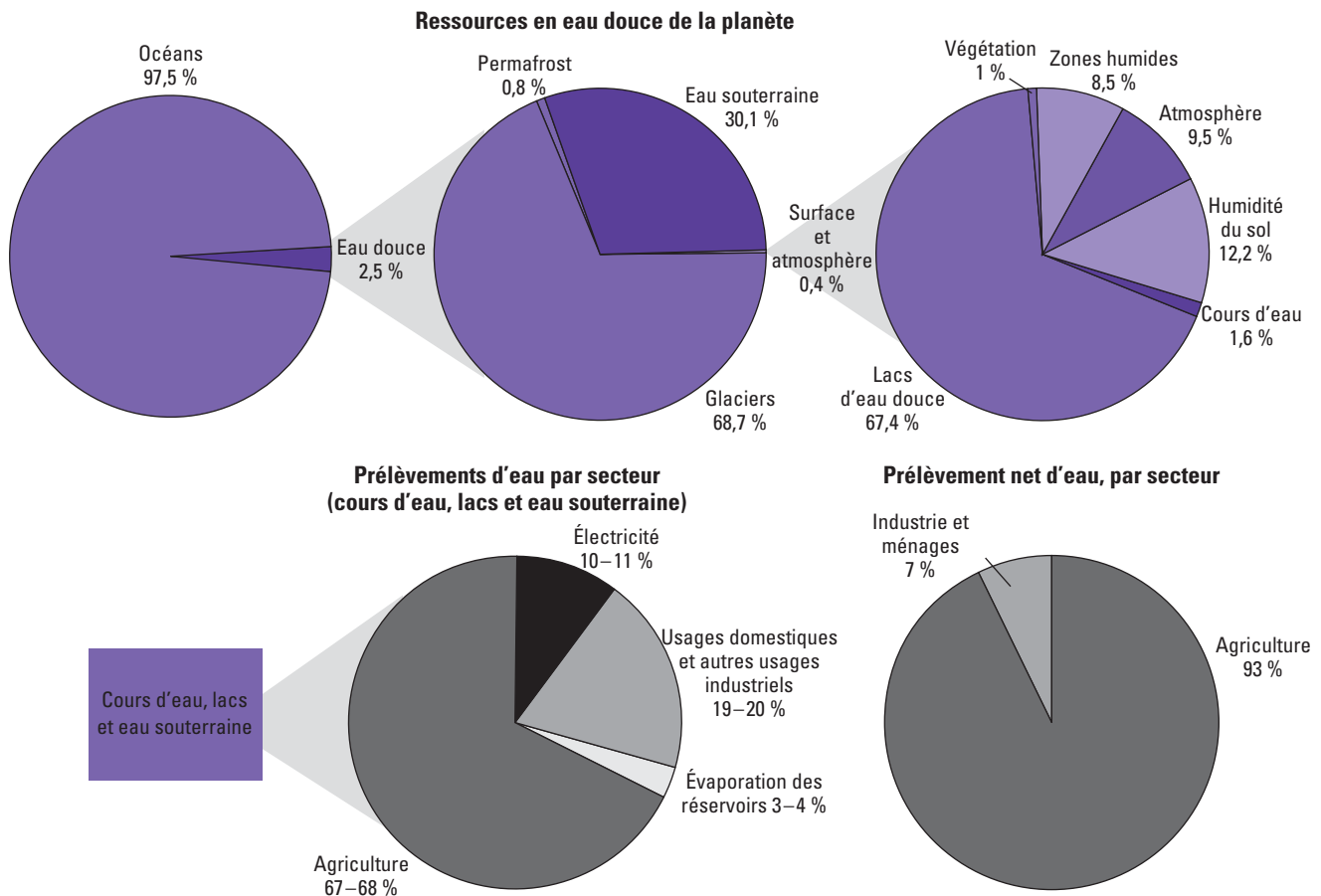


Source : Base de données multimodèle CMIP3 du Programme mondial de recherche sur le climat (http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/about_ipcc.php). Analyse de la Banque mondiale.
 Note : Les cartes montrent l'évolution de la médiane (sur la base de 8 modèles climatiques utilisant le scénario A1B du RRSE) des valeurs annuelles entre les périodes 2030-2049 et 1980-1999. On parle de jour « de sécheresse » lorsque les précipitations sont inférieures à 1 millimètre, et de jour « pluvieux » lorsque les précipitations sont supérieures à 1 millimètre. L'intensité des précipitations (SDII, ou indice d'intensité moyen d'un jour de pluie) est égale au total des prévisions de précipitations annuelles divisé par le nombre de jours « pluvieux ». Les zones blanches sont celles pour lesquels les résultats des modèles ne concordent pas dans une large mesure (concordance de moins des deux tiers des modèles sur le signe de l'évolution).

par l'Organisation des Nations Unies, rares sont les pays qui savent combien d'eau est utilisée sur leur territoire et à quelles fins, la quantité et la qualité de l'eau disponible, et les volumes qui peuvent être prélevés sans que cela ne nuise gravement à l'environnement, et même quelles sommes sont investies dans des infrastructures pour l'eau⁷. La comptabilité des ressources en eau est une opération complexe. Les définitions et les méthodes varient, et sont souvent source de confusion. Par exemple, selon Pacific Institute, les ressources en eau renouvelables annuelles de la République arabe d'Égypte seraient de 86,8 kilomètres cube pour 2007, tandis qu'EarthTrends évalue ces mêmes ressources à 58 kilomètres cube. Les deux rapports indiquent la même source d'information. Le problème tient au fait que le terme *utilisation* est interprété différemment (le chiffre supérieur comprend les quantités d'eau recyclées en Égypte, contrairement au chiffre inférieur)⁸.

La planète a une quantité fixe d'eau, dont la forme et la localisation varient dans l'espace et dans le temps⁹. Les êtres humains n'ont guère la maîtrise de l'essentiel de cette eau – l'eau salée des océans, l'eau douce des glaciers et l'eau contenue dans l'atmosphère. La plupart des investissements concernent l'eau des cours d'eau et des lacs, mais l'humidité du sol et les eaux souterraines représentent, conjointement, 98 % de l'eau douce disponible dans le monde (figure 3.2)¹⁰. Beaucoup s'inquiètent des quantités d'eau potable disponibles, sans se rendre compte que la consommation humaine d'eau est avant tout le fait de l'agriculture. Chaque jour, une personne boit entre 2 et 4 litres d'eau mais consomme des aliments dont la production a exigé entre 2 000 et 5 000 litres d'eau¹¹. Ces moyennes masquent d'énormes variations. Dans certains bassins, ce sont les industries et les zones urbaines qui consomment le plus d'eau ; ce sera en outre le cas de plus en plus de bassins étant donné le rythme actuel de la croissance urbaine¹².

Figure 3.2 L'eau douce des cours d'eau représente une très petite partie de l'eau disponible sur la planète – et l'agriculture est le principal consommateur d'eau



Source : Shiklomanov 1999 ; Shiklomanov et Rodda 2003 ; Vassolo et Döll 2005.

Note : La consommation humaine d'eau influe sur la qualité et sur les quantités totales et à différentes périodes des ressources en eau disponibles pour d'autres utilisations. L'être humain prélève généralement l'eau qu'il utilise dans les lacs, les cours d'eau et les nappes souterraines ; l'eau peut être consommée puis retourner dans la partie atmosphérique du cycle hydrologique, ou bien être restituée dans le bassin versant. L'eau utilisée pour l'irrigation est prélevée sur une base nette – elle devient indisponible pour un autre usage dans le bassin. En revanche, le lâcher d'eau d'un barrage pour faire tourner des turbines hydroélectriques constitue une utilisation neutre sur le plan quantitatif car l'eau est disponible pour des utilisateurs en aval, même si ce n'est pas nécessairement au moment opportun. Les prélèvements effectués par une ville pour la distribution d'eau municipale sont pour l'essentiel neutres sur le plan quantitatif, mais si l'eau restituée n'est pas convenablement épurée, la qualité de l'eau en aval s'en trouve affectée.

Le changement climatique aura pour effet de réduire la quantité d'eau stockée naturellement dans les couvertures neigeuses et glacières, ce qui aura manifestement des conséquences sur le stockage de l'eau dans les aquifères et obligera les organismes de gestion des eaux à concevoir et à exploiter les réservoirs différemment. Ces organismes devront gérer l'intégralité du cycle de l'eau. Ils ne pourront plus se permettre de ne s'occuper que de la fraction des ressources en eau constituée par les cours d'eau et les lacs et de laisser aux propriétaires fonciers le soin de gérer les eaux souterraines et l'humidité des sols. De nombreux bassins vont être confrontés, simultanément, à une augmentation de la demande, à une diminution des volumes disponibles et une plus grande variabilité des ressources. Dans ces conditions, les responsables de la gestion de l'eau auront moins de marge de manœuvre si leurs décisions ne sont pas robustes, c'est-à-dire adaptées à de multiples situations. Pour aider les sociétés humaines à faire face à ces changements, différents outils existent, qui vont de réformes stratégiques aux protocoles décisionnels, et des technologies de collecte de données à la conception de nouveaux types d'infrastructures.

Parce que le changement climatique va modifier les schémas hydrologiques, il ne sera plus possible de se fonder

sur l'expérience pour prévoir les conditions hydrologiques futures. C'est pourquoi, à l'instar d'autres gestionnaires de ressources naturelles, les ingénieurs en hydrologie mettent au point de nouveaux instruments pour étudier les impacts à différentes échelles spatiales et temporelles et, ce faisant, faciliter l'évaluation des arbitrages nécessaires et faire des choix robustes face à l'avenir incertain (encadré 3.1)¹³.

En raison du changement climatique, il sera encore plus important d'appliquer et de faire respecter des stratégies d'utilisation de l'eau rationnelles.

Il sera de plus en plus important d'allouer les ressources en eau de manière efficace et de plafonner la consommation à des niveaux viables. Lorsque les ressources en eau sont peu abondantes, certains consommateurs peuvent en consommer de trop grandes quantités ce qui a pour effet d'en priver d'autres personnes ou de nuire aux écosystèmes et de compromettre les services qu'ils fournissent. Lorsque la consommation dans un bassin dépasse la quantité d'eau disponible, les usagers doivent consommer moins et l'eau doit être répartie conformément à certaines procédures ou certaines règles. Les responsables de l'action publique ont alors deux options: ils peuvent soit établir des

ENCADRÉ 3.1 *Prise de décision robuste : Une nouvelle manière de gérer les ressources en eau*

En situation d'incertitude, les processus décisionnels traditionnels ont recours aux distributions de probabilités pour classer les différentes actions possibles, sur la base de l'enveloppe des risques antérieurs. Toutefois, cette méthode ne peut pas être suivie lorsque les décideurs ne connaissent pas les relations de cause à effet, ou ne parviennent pas à s'entendre sur ces dernières, sur la probabilité de différents événements, ou sur la manière dont différentes réalisations doivent être évaluées. Comme indiqué au chapitre 2, la prise de décision robuste est un moyen différent de gérer les risques. Les stratégies robustes sont celles qui donnent de meilleurs résultats que les autres dans une large gamme de conditions futures plausibles. Elles sont formulées au moyen de modèles de simulation informatiques qui ne prédisent pas l'avenir mais établissent de vastes ensembles de conditions futures plausibles pour identifier les stratégies robustes envisageables et évaluer systématiquement les résultats qu'elles produisent. Il ne s'agit pas ici d'aboutir à une solution optimale mais de trouver

la stratégie qui réduit le plus possible la vulnérabilité face à une gamme de risques possibles.

La compagnie des eaux Inland Empire Utilities Agency (IEUA), qui opère dans le sud de la Californie, a employé cette méthode pour intégrer les effets du changement climatique dans son plan de gestion à long terme des eaux urbaines. Tout d'abord, elle a établi des projections probables du climat dans la région en combinant les résultats de 21 modèles climatiques. Grâce à l'intégration d'un modèle de simulation de gestion des ressources en eau, les hypothèses relatives à l'évolution du climat, la quantité et la disponibilité de l'eau souterraine, l'urbanisation, les coûts des programmes et le coût de l'importation d'eau ont été examinées dans le contexte de certaines de scénarios. IEUA a ensuite calculé la valeur actuelle des coûts des différentes méthodes d'approvisionnement en eau dans le cadre de 200 scénarios. Elle a éliminé toutes les stratégies produisant des coûts supérieurs à 3,75 milliards de dollars sur une période de 35 ans. L'analyse exploratoire de scénarios a permis de

conclure que les coûts atteindraient des niveaux inacceptables si trois phénomènes se produisaient simultanément : une forte baisse des précipitations, une modification importante du prix de l'eau importée, et une diminution de la percolation naturelle dans le bassin versant.

L'objectif de l'opération était de réduire la vulnérabilité de la compagnie des eaux dans le cas où ces trois phénomènes surviendraient simultanément. IEUA a identifié de nouvelles ripostes, notamment l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la collecte d'une plus grande quantité d'eaux pluviales pour recharger la nappe phréatique, le recyclage de l'eau, et l'augmentation des importations d'eau les années pluvieuses afin de pouvoir prélever de plus grandes quantités d'eau souterraine les années de sécheresse. La compagnie a constaté que, si toutes ces mesures étaient mises en œuvre, les coûts ne dépasseraient pratiquement jamais le plafond de 3,75 milliards de dollars.

Source : Groves *et al.* 2008 ; Groves et Lempert 2007 ; Groves, Yates, et Tebaldi 2008.

volumes limites déterminés pour les différentes catégories de consommateurs, et les faire respecter, soit agir au niveau des prix pour encourager les usagers à réduire leur consommation, voire même à acheter ou vendre des droits d'utilisation. Quelle que soit l'option retenue, il faut des informations fiables et des institutions solides pour concevoir et appliquer des mesures judicieuses.

L'option de l'allocation de volumes prélevables est celle qui est le plus souvent retenue mais il est difficile de bien la maîtriser. L'Afrique du Sud a élaboré l'un des dispositifs les plus perfectionnés qui existe, mais elle s'efforce toujours de l'améliorer. Sa loi sur l'eau de 1998 stipule que l'eau est un bien public et ne peut appartenir à une personne privée¹⁴. Tous les utilisateurs doivent s'enregistrer, obtenir un permis de consommation, et payer pour cette consommation, y compris pour l'eau des cours d'eau ou l'eau souterraine qu'ils prélèvent à leurs frais. *L'activité de réduction du débit des eaux* constitue une catégorie d'utilisation de l'eau, ce qui signifie que le propriétaire d'une plantation forestière doit obtenir une autorisation au même titre qu'un agriculteur qui irrigue ses champs ou qu'une compagnie des eaux urbaines. Seules les plantations forestières ont pour l'instant été classées dans la catégorie des « activités de réduction du débit des eaux », mais l'agriculture pluviale et les opérations de récupération de l'eau pourraient aussi l'être à terme. Le fait de considérer l'industrie forestière comme un consommateur d'eau met directement en concurrence les modes d'utilisation des sols avec les autres utilisations des ressources en eau. Les droits à l'eau ne sont garantis que pour les réserves écologiques et pour la consommation par chaque personne d'une quantité d'eau qui ne peut être inférieure à 25 litres par jour pour pouvoir satisfaire à ses besoins fondamentaux¹⁵.

Le prix de l'eau est presque toujours inférieur à sa valeur, ce qui incite peu les usagers à l'utiliser de manière rationnelle¹⁶. Pratiquement toutes les études consacrées à ce sujet prônent l'adoption d'instruments économiques pour réduire la demande¹⁷. La facturation des services d'eau (irrigation, eau potable, collecte et épuration des eaux usées) peut également permettre de recouvrer les coûts de la fourniture du service et de l'entretien des infrastructures¹⁸.

L'effet de la tarification sur le niveau de la demande varie selon l'utilisation qui est faite de l'eau. La tarification des eaux municipales permet généralement de réduire la demande, en particulier lorsque cette mesure s'accompagne d'efforts d'éducation des usagers. Quand l'eau est chère, beaucoup de compagnies des eaux et d'usagers réparent les fuites et consomment seulement la quantité dont ils ont besoin¹⁹. Mais comme la consommation urbaine n'est responsable, en moyenne, que de 20 % des prélèvements d'eau, les effets sur la consommation totale de ces efforts sont limités (figure 3.2). Par ailleurs, comme l'utilisation des eaux municipales est essentiellement neutre sur le plan quantitatif, la diminution de la consommation d'eau dans les villes augmente peu les disponibilités dans le reste du bassin.

L'irrigation consomme de l'eau sur une base nette et se prête moins à l'établissement d'un système de tarification. D'une part, la quantité d'eau effectivement consommée est difficile à mesurer. D'autre part, l'expérience montre que les agriculteurs ne réduisent pas leur consommation tant que le prix n'atteint pas un multiple du coût de la fourniture du service. Mais pour la plupart des pays, il est politiquement inacceptable de facturer beaucoup plus que le montant nécessaire pour recouvrer les coûts d'exploitation. Enfin, une augmentation trop importante du prix des eaux de surface encouragera tout agriculteur pouvant forer dans un aquifère à utiliser à la place de l'eau souterraine, ce qui ne fera que déplacer le problème de surconsommation²⁰.

Dans la plupart des pays, l'État ou tout autre propriétaire de l'eau fait payer à la compagnie des eaux municipale ou à l'office d'irrigation l'eau prélevée des cours d'eau ou des aquifères, autrement dit l'eau en gros. Pour de multiples raisons techniques et politiques, peu de pays lui appliquent un tarif suffisamment élevé pour modifier l'allocation des ressources entre les différentes utilisations concurrentes²¹. De fait, aucun pays n'alloue l'eau en gros sur la base de prix²², bien que l'Australie s'achemine vers un système de ce type²³. Même si elle est loin d'être simple, la fixation de quotas pour la quantité cumulée d'eau de surface et d'eau souterraine allouée à l'irrigation, ou mieux, la quantité d'eau effectivement consommée (évapotranspiration), semble être une méthode plus réaliste sur le plan politique et administratif que la fixation de tarifs visant à limiter le prélèvement net total²⁴.

La mise en place d'un marché des droits sur l'eau pourrait améliorer la gestion de l'eau à long terme mais ne constitue pas une option réaliste à court terme dans la plupart des pays en développement. Un marché des droits sur l'eau peut accroître dans une mesure considérable l'efficacité de l'allocation d'eau et dédommager les personnes prêtes à renoncer à une partie des quantités d'eau qu'elles pourraient utiliser²⁵. Des marchés officiels de droits sur l'eau sont en place en Afrique du Sud, en Australie, au Chili, et dans l'ouest des États-Unis. Les études menées en Australie indiquent que les marchés des droits sur l'eau ont aidé les agriculteurs à faire face aux sécheresses et ont stimulé l'innovation et l'investissement sans intervention des pouvoirs publics.

Toutefois, les aspects détaillés de la structure d'un tel marché déterminent son succès dans une large mesure, et il faut du temps pour créer les institutions nécessaires. Plusieurs dizaines d'années ont été nécessaires pour développer ces capacités en Australie, alors même que ce pays jouissait de longue date d'une bonne gouvernance, avait une population instruite et habituée à respecter certaines règles, et avait déjà un dispositif général d'allocation en place avant la création du marché des droits sur l'eau²⁶. Les pays qui autorisent les échanges de droits sur l'eau mais qui ne disposent pas des capacités institutionnelles nécessaires pour faire

appliquer les quotas attribués à chaque usager enregistrent généralement une forte augmentation de la surexploitation (encadré 3.2).

En réduisant la prévisibilité des ressources en eau qui seront disponibles à l'avenir, le changement climatique, complique encore le défi que pose la mise en place d'un marché des droits sur l'eau²⁷. Même lorsque le climat est stable, il est difficile à des organismes pourtant perfectionnés de déterminer à l'avance les volumes d'eau pouvant être alloués sans risque aux différents usagers, et les volumes qui devraient être mis en réserve pour les besoins de l'environnement²⁸. Parce qu'ils n'ont pas pris suffisamment en compte certaines utilisations (comme celles des plantations forestières et de la végétation naturelle) ou certaines modifications dans le comportement des usagers, les dispositifs mis en place en Australie et au Chili ont émis des droits pour des volumes d'eau supérieurs aux ressources réellement disponibles. Il leur a fallu entreprendre un délicat, et douloureux, processus de réallocation ou de réduction des droits attribués²⁹. Des marchés bien réglementés sur lesquels sont négociés des droits portant sur des quantités d'eau définies est un bon objectif à long terme, mais la plupart des pays en développement devront passer par différentes étapes intermédiaires, cruciales, avant d'y parvenir³⁰.

Il sera nécessaire, face au changement climatique, d'investir dans de nouvelles technologies et de mieux exploiter les technologies existantes

Le stockage de l'eau peut aider à faire face à la variabilité accrue des ressources. Le stockage d'eau dans les rivières, les lacs, les sols et les aquifères est un élément essentiel de toute stratégie visant à gérer la variabilité des ressources en eau – aussi bien pour faire face aux sécheresses (l'eau stockée est utilisée pendant les périodes sèches) qu'aux inondations (le maintien d'une capacité de stockage suffisante permet d'absorber l'excédent d'eau). Dans la mesure où le changement climatique va réduire le stockage naturel sous forme de glace et de neige et dans les aquifères (en ralentissant leur recharge), un grand nombre de pays vont devoir augmenter leurs capacités de stockage artificielles.

La planification des ressources en eau devra prendre en compte les possibilités de stockage offertes par l'ensemble du paysage. L'eau stockée dans le sol pourra être utilisée plus efficacement si l'on gère la couverture des sols, en particulier en améliorant la productivité de l'agriculture pluviale. La gestion des eaux souterraines, déjà difficile, revêtira une importance grandissante à mesure que la fiabilité des eaux de surface diminuera. Les eaux souterraines servent de protection contre les aléas de l'approvisionnement public

ENCADRÉ 3.2 *Les dangers de créer un marché des droits sur l'eau avant la mise en place de structures institutionnelles*

Une étude du cas de l'Australie parvient à la conclusion que « avec le recul et l'expérience acquise, il apparaît plus clairement que... de nombreux problèmes structurels doivent être résolus. Le marché des droits sur l'eau ne sera sans doute un succès incontestable que si et seulement si les régimes de gestion des allocations et des utilisations sont conçus pour permettre ce type de transactions et si les mécanismes de gouvernance correspondants empêchent toute allocation excessive. Il est justifié de s'opposer à la création d'un tel marché tant que tous les aspects du dispositif n'ont pas fait l'objet d'études détaillées ». Les points délicats sont, notamment, la comptabilisation de l'eau (il importe d'évaluer correctement l'utilisation combinée des eaux de surface et des eaux souterraines, d'anticiper une évolution vers des conditions climatiques plus sèches et de prendre en compte l'augmentation de la consommation des plantations forestières encouragées par des

subventions publiques), et les problèmes institutionnels (il faut mettre en place un cadre réglementaire distinct et créer des organismes pour définir les droits, gérer les allocations et contrôler l'utilisation de l'eau ; établir des registres fiables dès le début du processus ; permettre le report d'une année sur l'autre des quantités d'eau inutilisées ; mettre en place un secteur privé du courtage ; et assurer la communication rapide de l'information à toutes les parties). Certains pays pratiquent de longue date un commerce de l'eau informel. Les marchés qui fonctionnent bien sont souvent fondés sur des pratiques coutumières. Au Maroc par exemple, les agriculteurs de Bitit procèdent à des échanges de droits sur l'eau depuis des dizaines d'années, sur la base de règles établies par des pratiques coutumières. Le système repose sur une liste détaillée à laquelle tous les membres de la communauté ont accès, qui identifie chaque participant et précise la quantité

d'eau à laquelle chacun a droit, exprimée en nombres d'heures d'écoulement. Les dispositifs qui autorisent l'échange de quantités d'eau sans que les droits sur l'eau aient été définis ou soient respectés peuvent aggraver la surexploitation. Les agriculteurs de la région de Ta'iz, en République du Yémen, vendent leur eau souterraine à des opérateurs de camions-citernes qui approvisionnent la ville. Avant la création de ce marché, les agriculteurs prélevaient de l'aquifère seulement les quantités d'eau dont ils avaient besoin pour leurs cultures. Le commerce de l'eau, qui a fait monter le prix unitaire de l'eau, accroît les profits tirés de l'utilisation de l'eau souterraine. Et, comme les quantités d'eau qu'un agriculteur tire de son puits ne sont pas contrôlées, les volumes qu'il peut prélever ne sont pas limités. Ce marché non réglementé accélère donc l'épuisement de l'aquifère.

Sources : CEDARE 2006 ; Banque mondiale 2007b ; Young et McColl, à paraître.

et des précipitations. À titre d'exemple, elles fournissent, 60 % de l'eau utilisée par l'agriculture irriguée et 85 % de l'eau potable des populations rurales en Inde, et la moitié de l'eau potable des habitants de Delhi. Les eaux souterraines peuvent continuer de servir de protection naturelle à condition d'être bien gérées, mais elles sont loin de l'être. Dans les régions arides du monde entier, les aquifères sont surexploités. Selon les estimations, la diminution des réserves d'eau souterraine en Inde pourrait compromettre jusqu'à un quart de la production agricole annuelle³¹.

Pour améliorer la gestion de l'eau souterraine, il est nécessaire d'agir à la fois sur l'offre (recharge artificielle, recharge naturelle accélérée, barrières à l'intérieur des aquifères pour retarder les écoulements souterrains) et sur la demande. Toutefois, il n'est pas possible de seulement gérer les eaux souterraines – la gestion de ces dernières doit être intégrée à la régulation des eaux de surface³². Le recours à des techniques de renforcement de l'offre n'est pas sans complexité. Par exemple, une recharge artificielle présente peu d'intérêt lorsque les ressources en eau et les aquifères adaptés à leur stockage ne se trouvent pas au même endroit que les aquifères excessivement utilisés ; en Inde, 43 % des fonds affectés au programme de recharge artificielle, qui se chiffre à six milliards de dollars, seront probablement employés pour recharger des aquifères qui ne sont pas surexploités³³.

Les barrages joueront un rôle important dans la gestion de l'eau face au changement climatique. Il sera nécessaire de les concevoir de manière à ce qu'ils permettent de gérer avec suffisamment de souplesse les changements pouvant intervenir dans le niveau des précipitations et de l'écoulement dans leurs bassins. Même si beaucoup des meilleurs sites de barrages sont déjà exploités, il reste possible de construire de nouveaux barrages, en particulier en Afrique. Un barrage bien géré génère de l'électricité hydraulique et protège des

sécheresses et des inondations. Il existe peu d'analyses détaillées de l'impact économique de ces infrastructures mais quatre études de cas montrent que les barrages considérés ont des effets économiques directs positifs et des effets indirects importants, qui profitent parfois dans une bien plus large mesure aux populations pauvres³⁴. Le Grand barrage d'Assouan, en Égypte, produit des bénéfices économiques nets annuels équivalents à 2 % du produit intérieur brut (PIB) du pays³⁵. Il génère 8 milliards de kilowattheures d'énergie, soit une puissance suffisante pour alimenter en électricité toutes les villes et villages du pays. Il a permis de développer l'agriculture et d'assurer la navigabilité du Nil toute l'année (ce qui a encouragé la réalisation d'investissements dans des croisières sur le fleuve) et il met les cultures et les infrastructures nationales à l'abri des sécheresses et des inondations. Toutefois, les barrages ont également des effets négatifs bien connus³⁶, et il est important de bien peser leurs avantages et leurs inconvénients. Avec le changement climatique, il devient crucial de trouver des options robustes : dans les pays qui ne peuvent pas établir avec certitude si les précipitations vont augmenter ou diminuer, il peut être efficace par rapport aux coûts de construire des structures spécialement conçues pour pouvoir être modifiées ultérieurement. Par ailleurs, les équipements hydrauliques sont de plus en plus complexes, de sorte qu'il est essentiel que les pays agissent sur la base d'analyses hydrologiques, opérationnelles, économiques et financières solides et par le biais d'institutions capables (encadré 3.3).

Le recours à des technologies non conventionnelles peut accroître les quantités d'eau disponibles dans certaines régions pauvres en eau. Il est possible d'améliorer l'approvisionnement en eau en dessalant l'eau de mer ou les eaux saumâtres et en réutilisant les eaux usées épurées.

ENCADRÉ 3.3 *La gestion des ressources en eau en Tunisie*

Le cas de la Tunisie illustre bien les problèmes que pose la gestion de l'eau dans les pays qui utilisent pratiquement l'intégralité de leurs ressources. La Tunisie ne compte que 400 mètres cube de ressources en eau renouvelables par habitant et, comme ces ressources sont extrêmement variables et réparties inégalement dans le temps et dans l'espace, la gestion de l'eau pose un défi considérable. Pourtant, contrairement aux pays voisins du Maghreb, la Tunisie a traversé plusieurs périodes de sécheresse consécutives sans rationner l'eau utilisée par les agriculteurs ni recourir à des barges pour approvisionner ses villes. Elle a

construit des barrages qu'elle a reliés par des conduites afin de pouvoir transférer l'eau entre les différentes régions du pays. Une fois les sites les plus intéressants mis en exploitation, les autorités nationales ont entrepris d'ériger des infrastructures dans des régions plus marginales. Des barrages ont été construits sur des fleuves se jetant dans la mer bien que la demande d'eau dans les bassins de ces cours d'eau soit limitée. L'eau stockée peut être pompée à travers la montagne jusqu'au principal bassin fluvial du pays. Les ressources ainsi amenées permettent d'accroître l'offre tout en diminuant la salinité dans la région où la demande

d'eau est la plus élevée. En outre, la Tunisie épure et recycle un tiers de ses eaux usées urbaines pour l'agriculture et les zones humides, et recharge artificiellement ses aquifères. Les gestionnaires tunisiens sont maintenant confrontés à la nécessité de prendre un ensemble complexe de décisions : ils doivent optimiser la quantité, la disponibilité dans le temps et la qualité de l'eau, en même temps que le coût de l'énergie ; les capacités humaines pouvant gérer des ressources de manière aussi intensive revêtent donc une grande importance.

Source : Louati 2009.

Les opérations de dessalement, qui ont produit moins de 0,5 % du total de l'eau utilisée en 2004³⁷, sont appelées à se développer.

Certains progrès techniques, tels que les filtres économes en énergie, contribuent à faire chuter les prix du dessalement, et des installations pilotes commencent à alimenter en énergie renouvelable des usines de dessalement³⁸. Une usine peut produire et livrer l'eau qu'elle a traitée à une compagnie des eaux pour un prix qui peut être aussi faible que 0,50 dollar le mètre cube, selon sa taille et les technologies qu'elle emploie. Ce prix reste supérieur à celui de l'eau provenant de sources traditionnelles d'eau douce³⁹, de sorte que la production d'eau dessalée n'est généralement valable que pour les utilisations à forte valeur ajoutée, comme la distribution d'eau dans les centres urbains ou les stations touristiques⁴⁰. Cette eau est aussi souvent uniquement consommée dans les régions côtières car le transport d'eau dessalée à l'intérieur des terres ajoute encore à son coût⁴¹.

Il ne sera pas facile de produire davantage d'aliments avec la même quantité d'eau, mais certaines méthodes nouvelles pourraient rendre cette tâche plus aisée. Pour satisfaire les besoins futurs, il sera nécessaire aussi d'utiliser l'eau plus efficacement, en particulier dans l'agriculture, qui est à l'origine de 70 % des prélèvements d'eau douce des cours d'eau et des nappes phréatiques (figure 3.2)⁴².

Il semble possible d'accroître dans une certaine mesure la productivité de l'eau dans l'agriculture pluviale, qui fait vivre la majorité des populations pauvres de la planète, génère plus de la moitié de la valeur brute des cultures mondiales et absorbe 80 % de l'eau utilisée pour les cultures dans le monde⁴³. Les options, décrites à la section suivante, comprennent le paillage, les pratiques culturales anti-érosives, et autres techniques similaires qui augmentent la rétention d'eau dans le sol et ont donc pour effet de réduire l'évaporation et d'accroître la quantité d'eau disponible pour les plantes. Il est également possible de retenir d'autres options, notamment la récupération de l'eau de pluie à petite échelle.

Parmi les différentes interventions possibles pour augmenter la production de l'agriculture pluviale, certaines (le paillage, les pratiques culturales anti-érosives) retiennent certaines quantités d'eau qui, sinon, s'évaporeraient de manière improductive. D'autres (récupération de l'eau de pluie, pompage de la nappe phréatique) captent de l'eau qui aurait, sinon, été disponible pour d'autres usagers en aval. Lorsqu'il y a abondance d'eau, les effets sur les autres usagers sont imperceptibles, mais plus l'eau devient rare, plus ils deviennent importants. Dans ce cas encore, une comptabilisation exhaustive de l'eau et une planification intégrée des sols et de l'eau à l'échelon local, du bassin versant et de la région, peuvent rendre ces interventions efficaces en garantissant que leurs avantages et leurs inconvénients ont été correctement évalués.

La contribution de l'agriculture irriguée à la production alimentaire mondiale est appelée à se développer car, en dehors des bassins les plus dépourvus d'eau, l'agriculture irriguée peut mieux résister aux chocs climatiques⁴⁴. La productivité des cultures à l'hectare devra augmenter parce que la superficie totale irriguée ne pourra pas beaucoup s'accroître. Il semble, en effet, que l'augmentation des terres irriguées ne doive pas dépasser 9 % entre 2000 et 2050⁴⁵. La productivité de l'eau (en l'occurrence, la production agricole par unité d'eau allouée à l'irrigation) devra elle aussi s'améliorer, étant donné la demande d'eau sans cesse croissante émanant des villes, des industries et des installations hydro-électriques. Les nouvelles technologies offrent la possibilité d'améliorer la productivité de l'eau à condition d'être utilisées dans un cadre stratégique et institutionnel solide⁴⁶.

Accroître le rendement à la goutte d'eau nécessite un ensemble complexe d'investissements et de changements institutionnels. Nombre de pays, de l'Arménie à la Zambie, investissent dans de nouvelles infrastructures qui amènent l'eau des réservoirs aux cultures de façon efficace, en réduisant les pertes par évaporation. Toutefois, comme l'a montré précédemment l'exemple des agriculteurs marocains, les investissements ne peuvent être productifs que si les institutions locales assurent une distribution d'eau fiable, si les agriculteurs ont la possibilité de participer à la prise de décisions, et s'ils peuvent obtenir les conseils dont ils ont besoin sur la manière de tirer le meilleur parti des nouvelles infrastructures ou des progrès technologiques. Les nouvelles infrastructures ne permettront d'améliorer la gestion de l'eau que si elles sont associées à l'imposition de limites rigoureuses à la consommation d'eau de chaque individu, qu'il s'agisse aussi bien d'eau souterraine que d'eau de surface. Dans le cas contraire, les profits accrus retirés de l'irrigation inciteront les agriculteurs à étendre les superficies cultivées ou à pratiquer deux, voire trois récoltes par an sur leurs terres, de sorte qu'ils tireront encore plus d'eau de leurs puits. Les agriculteurs y gagneront, certes, mais au détriment des autres usagers de l'eau du bassin⁴⁷.

Une bonne gestion des cultures peut améliorer la productivité de l'eau grâce à la mise au point de variétés résistantes au froid, qui peuvent donc être cultivées en hiver c'est-à-dire à une période où elles ont moins besoin d'eau⁴⁸. Les cultures sous serre ou sous ombrage peuvent également avoir une moindre demande évaporative que les cultures en champs ouverts, bien que les coûts de production soient plus élevés⁴⁹. Quand les cultures dépérissent avant la récolte, l'eau qu'elles ont consommée est gaspillée. Par conséquent, l'adoption de variétés tolérantes à la sécheresse et à la chaleur permettra d'améliorer aussi bien la productivité de l'eau que la productivité agricole⁵⁰.

Une bonne planification de l'apport d'eau d'irrigation présente aussi des avantages. Un agriculteur qui ne connaît pas la quantité d'eau exacte dont il a besoin aura tendance

à trop irriguer, car les rendements agricoles sont moins affectés par un léger excédent que par un manque d'eau. En suivant l'absorption d'eau et la croissance durant toute la période de végétation, les agriculteurs peuvent fournir exactement la quantité d'eau nécessaire à leurs cultures et irriguer seulement lorsque c'est indispensable. Les systèmes de télédétection commencent à permettre aux agriculteurs de déterminer les besoins en eau des plantes avec une grande précision, avant même qu'elles ne montrent des signes de stress⁵¹. Ce type de pratiques agricoles de précision exige toutefois le recours à des équipements technologiques et ne peut donc être pratiqué que par un faible pourcentage des agriculteurs de la planète⁵².

En attendant que l'emploi de cette technologie se généralise, il est possible d'avoir recours à de simples systèmes automatisés pour aider les agriculteurs dont les moyens sont limités à accroître la précision des doses d'irrigation. Les agriculteurs marocains qui décident de pratiquer l'irrigation au goutte-à-goutte dans le cadre du dispositif gouvernemental évoqué plus haut bénéficieront de l'utilisation d'une technologie simple utilisant une formule d'irrigation stan-

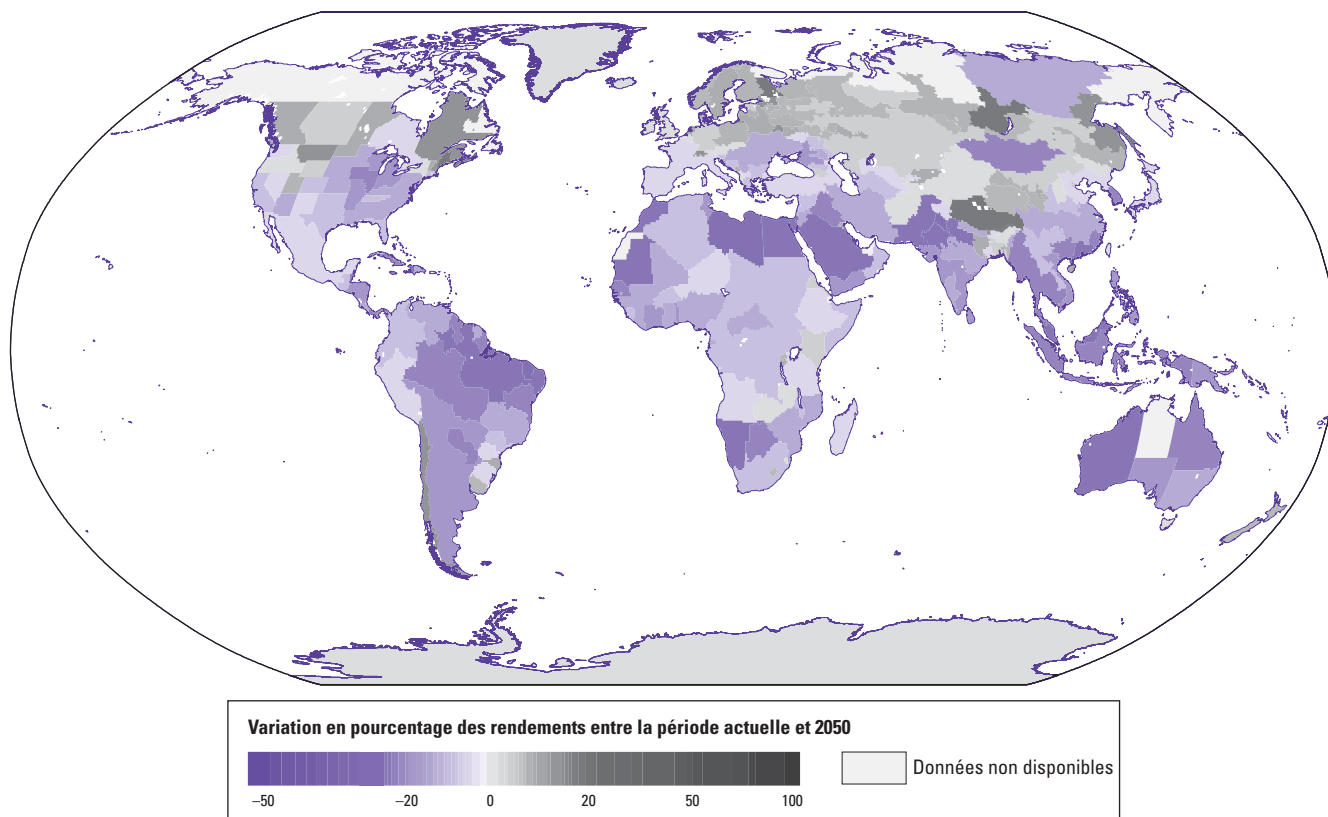
dard adaptée aux conditions culturelles locales. Chaque jour, le système enverra un message aux agriculteurs sur leurs téléphones portables pour leur indiquer combien d'heures ils doivent irriguer ce jour-là compte tenu des conditions météorologiques dans leur région. Ils pourront ainsi éviter de trop irriguer⁵³.

Augmenter la production agricole tout en protégeant l'environnement

Le changement climatique encouragera les sociétés humaines à accroître plus rapidement la productivité agricole

Le changement climatique diminuera les rendements agricoles. Le changement climatique exerce plusieurs types de pressions contradictoires sur la production agricole. Il aura un impact direct sur l'agriculture par suite de la hausse des températures, de l'augmentation de la demande d'eau des cultures, de la plus grande variabilité des précipitations, et d'événements climatiques extrêmes tels que sécheresses

Carte 3.3 Le changement climatique se traduira, en 2050, par une baisse des rendements agricoles dans la plupart des pays si les pratiques agricoles et les variétés culturelles actuelles continuent d'être employées



Source : Müller *et al.* 2009.

Note : La figure indique les projections du pourcentage de variation des rendements de onze grandes cultures (blé, riz, maïs, mil, pois fourrager, betterave à sucre, patate douce, soja, arachide, tournesol et colza) pour la période 2046-2055, par rapport à la période 1996-2005. Les valeurs retenues sont les moyennes des valeurs provenant de l'application de cinq modèles climatiques à trois scénarios d'émissions, en posant en hypothèse l'absence de tout effet de fertilisation du CO₂ (voir la note 54). Les projections font état d'impacts négatifs importants sur les rendements dans de nombreuses régions fortement tributaires de l'agriculture.

et inondations. Il augmentera aussi les rendements dans certains pays mais les fera baisser dans la plupart des pays en développement au point que les rendements moyens mondiaux diminueront (carte 3.3).

Sous les latitudes moyennes à hautes, il est possible que des hausses locales de température ne dépassant pas 1 à 3 °C, accompagnées d'un processus de fertilisation par le dioxyde de carbone⁵⁴ et d'un changement du régime des précipitations, aient un léger impact positif sur les rendements agricoles⁵⁵. De par leur situation géographique, le Kazakhstan, la Fédération de Russie et l'Ukraine devraient bénéficier de ces hausses de température, mais ils ne seront peut-être pas à même d'exploiter pleinement les opportunités offertes. Depuis l'éclatement de l'Union soviétique, ces trois pays ont globalement cessé de cultiver 23 millions d'hectares de terres arables, dont près de 90 % étaient consacrés à la production de céréales⁵⁶. Alors que les rendements céréaliers mondiaux augmentent, en moyenne, d'environ 1,5 % par an depuis 1991, les rendements ont baissé au Kazakhstan et en Ukraine, et n'ont que faiblement progressé en Russie. Si ces pays veulent profiter de la hausse des températures pour améliorer leur production agricole, ils vont devoir mettre en place des institutions plus solides et des infrastructures plus performantes⁵⁷. Or, à supposer qu'ils y parviennent, l'amélioration des rendements moyens pourrait être réduite à néant par des événements climatiques extrêmes : compte tenu de l'augmentation de la probabilité de tels phénomènes en Russie, les projections indiquent un triplement du nombre d'années durant lesquelles la production alimentaire sera déficitaire d'ici aux années 2070⁵⁸.

Selon les projections, dans la plupart des pays en développement, le changement climatique aura un impact négatif sur l'agriculture par rapport à la situation actuelle. Dans les régions de basse latitude, une hausse même modérée de 1 à 2 °C des températures aura pour effet de réduire les rendements des principales céréales⁵⁹. Selon les estimations fondées sur plusieurs études, la productivité agricole mondiale baisserait de 3 % d'ici les années 80 dans un scénario d'émissions de carbone élevées accompagnées d'un processus de fertilisation par le dioxyde de carbone, ou de 16 % en l'absence de fertilisation⁶⁰. Pour le monde en développement, cette baisse devrait être encore plus prononcée, les projections indiquant une diminution de 9 % en cas de fertilisation par le dioxyde de carbone et de 21 % en l'absence de fertilisation.

D'après une analyse consacrée à 12 régions en situation d'insécurité alimentaire au moyen de modèles de cultures et des résultats produits par 20 modèles du climat mondial, l'Asie et l'Afrique enregistrent des baisses particulièrement marquées de leurs rendements à l'horizon 2030 à moins qu'elles ne prennent des mesures d'adaptation. Les pertes concerneront notamment certaines des cultures essentielles à la sécurité alimentaire de ces régions, telles que

le blé en Asie du Sud, le riz en Asie du Sud-Est, et le maïs en Afrique australe⁶¹. Ces projections sous-estiment vraisemblablement l'impact du changement climatique : les modèles qui génèrent ces projections des effets du changement climatique sur l'agriculture prennent en compte généralement les évolutions moyennes et font abstraction des conséquences des événements extrêmes, de la variabilité des conditions, et des ravageurs des cultures, qui seront probablement tous plus nombreux. Le changement climatique va rendre aussi certaines terres moins propices aux cultures, en particulier en Afrique⁶². Une étude estime que d'ici 2080, l'étendue des terres d'Afrique subsaharienne durement touchées par des facteurs climatiques ou pédologiques augmentera d'une superficie comprise entre 26 et 61 millions d'hectares⁶³, pour constituer entre 9 à 20 % des terres arables de la région⁶⁴.

Les mesures prises pour atténuer les effets du changement climatique accentueront la pression sur les terres.

Outre qu'il réduira les rendements, le changement climatique fera pression sur les agriculteurs et les autres gestionnaires des terres pour qu'ils réduisent les émissions de gaz à effet de serre. En 2004, environ 14 % des émissions mondiales de ces gaz étaient imputables aux pratiques agricoles. Ces gaz comprennent l'oxyde d'azote provenant des engrais ; le méthane émis par le bétail, les rizières et le stockage du fumier ; et le dioxyde de carbone (CO₂) provenant du brûlage de biomasse, mais elles ne comprennent pas le CO₂ résultant des pratiques de gestion des sols, de l'écobuage et du déboisement⁶⁵. Les régions en développement produisent la majorité de ces émissions de gaz à effet de serre puisque 80 % du total sont imputables à l'Asie, à l'Afrique et à l'Amérique latine.

La foresterie, l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres contribuent pour 17 % supplémentaires aux émissions annuelles de gaz à effet de serre, dont les trois quarts proviennent du déboisement en zone tropicale⁶⁶. Les émissions restantes sont essentiellement imputables au drainage et au brûlage de tourbières tropicales. La quantité de carbone stockée dans les tourbières de la planète est pratiquement la même que celle qui est stockée dans la forêt ombrophile amazonienne. Elles représentent, toutes deux, environ neuf années des émissions mondiales dues aux combustibles fossiles. En Asie équatoriale (Indonésie, Malaisie, Papouasie-Nouvelle-Guinée), les émissions des feux associés au drainage des tourbières et au déboisement sont comparables à celles des énergies fossiles⁶⁷. Les émissions imputables à l'élevage sont comptabilisées dans plusieurs catégories (agriculture, foresterie, déchets), et contribuent globalement, selon les estimations, jusqu'à 18 % du total mondial, essentiellement en raison des émissions de méthane des animaux, du fumier et du défrichage des terres pour l'établissement de pâturages⁶⁸.

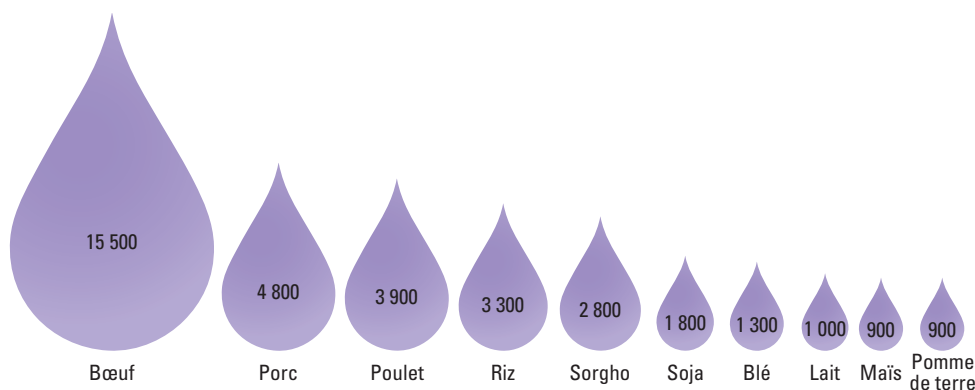
Les cultures axées sur la production de biocarburants pour atténuer les effets du changement climatique aggraveront encore la concurrence pour l'utilisation des terres. Selon les estimations actuelles, les cultures énergétiques n'occupent que 1 % des terres arables mondiales, mais la législation sur les biocarburants, dans les pays développés et en développement, encourage l'augmentation de leur production. La production mondiale d'éthanol est passée de 18 milliards de litres par an en 2000 à 46 milliards en 2007, tandis que la production de biodiesel a pratiquement été multipliée par 8 pour atteindre les 8 milliards de litres. La superficie des terres allouées aux cultures axées sur la production de biocarburants devrait, selon les projections, quadrupler d'ici 2030, cette expansion se produisant, pour l'essentiel, en Amérique du Nord (10 % des terres arables en 2030) et en Europe (15 %) ⁶⁹. Toujours selon les projections, la proportion des terres arables affectées à ce type de cultures sera de seulement 0,4 % en Afrique et d'environ 3 % en Asie et en Amérique latine à l'horizon 2030 ⁷⁰. Dans certains scénarios d'atténuation du changement climatique, les projections pour les périodes ultérieures à 2030 indiquent que la superficie allouée aux cultures énergétiques passera à plus de 2 milliards d'hectares à l'horizon 2100 – un chiffre considérable si on le rapporte à la surface actuelle de terres cultivées qui n'est « que » de 1,6 milliard d'hectares. Selon ces scénarios, la plupart des terres consacrées à la production de biocarburants à grande échelle proviendront de la conversion de forêts naturelles et de pâturages ⁷¹.

Si la demande augmente rapidement, les biocarburants auront un important impact sur les marchés agricoles, en faisant monter les prix des produits de base. Une bonne partie de la demande actuelle de cultures énergétiques est stimulée par les cibles établies par les autorités nationales, par les subventions publiques et par les prix élevés du pétrole. Sans soutien artificiel, les biocarburants sont encore loin d'être compétitifs, à l'exception de l'éthanol brésilien fabriqué à partir de la canne à sucre. On ne sait pas réellement non plus dans quelle mesure les biocarburants diminuent les émissions

de gaz à effet de serre parce que des énergies fossiles sont utilisées dans le cadre de leur production et que le défrichage des terres est source d'émissions. Malgré le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre associé aux biocarburants, les avis divergent quant aux économies nettes de carbone permises par la génération actuelle de biocarburants lorsqu'on tient compte des processus de production et des changements d'affectation des terres. Par ailleurs, les cultures axées sur la production de biocarburants sont déjà en concurrence, pour l'utilisation des terres, avec les besoins liés à la préservation de la biodiversité. Il est donc important d'établir des lignes directrices pour le développement des biocarburants, afin de ne pas évincer d'autres objectifs environnementaux (encadré 3.4). La comptabilisation des aspects des biocarburants sur tout leur cycle de vie – c'est-à-dire aussi bien leur contribution à la réduction des émissions mais aussi leur consommation d'eau et d'engrais – pourrait ralentir le rythme de conversion des terres à ces cultures.

Les biocarburants de la deuxième génération qui sont actuellement à l'étude, tels que ceux produits à partir des algues, du *jatropha*, du sorgho doux et de saules, pourraient faire moins concurrence aux cultures alimentaires parce qu'ils exigent des superficies moindres ou peuvent être produits sur des terres marginales, bien que dans certains cas, ils puissent quand même entraîner la disparition de pâturages et d'écosystèmes de prairies. Des cultures pérennes à systèmes racinaires plus profonds, comme le panic érigé, permettent de mieux combattre l'érosion des sols et la perte de nutriments, exigent moins d'apports de nutriments, et piègent une plus grande quantité de carbone que les plantes actuellement utilisées pour produire des biocarburants ⁷². Mais parce qu'elles ont besoin d'eau, ces cultures ne sont forcément viables dans les zones arides. Les recherches doivent donc être poursuivies pour améliorer la productivité et le potentiel de réduction des émissions des futures générations de biocarburants.

Figure 3.3 La production de viande consomme beaucoup plus d'eau que les principales cultures



Source : Site de Waterfootprint (<https://www.waterfootprint.org>), consulté le 15 mai 2009 ; Gleick 2008.

Note : La figure indique le nombre de litres d'eau nécessaire pour produire un kilo de produit (ou un litre de lait). La consommation d'eau indiquée pour la production de bœuf ne concerne que les systèmes d'élevage intensif.

ENCADRÉ 3.4 Huile de palme, réduction des émissions et déboisement évité

Les plantations de palmiers à huile illustrent un grand nombre des enjeux actuels de l'utilisation des sols. Le palmier à huile est une culture à haut rendement à usage alimentaire et énergétique, source d'opportunités pour les petits exploitants. Mais les palmeraies empiètent sur les forêts tropicales dont la superficie diminue en même temps que les nombreux avantages qu'elles procurent, notamment leur contribution à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. La culture du palmier à huile a triplé depuis 1961 pour couvrir 13 millions d'hectares. Elle s'est développée principalement en Indonésie et en Malaisie, sur des terrains récemment déboisés dans plus de la moitié des cas. Les nouvelles concessions pour les plantations de palmiers à huile annoncées récemment en Amazonie brésilienne, en Papouasie-Nouvelle-Guinée et à Madagascar font craindre une poursuite probable de cette évolution. Les petits exploitants gèrent actuellement 35 à 45 % des terres plantées de palmiers à huile en Indonésie et en Malaisie, où cette

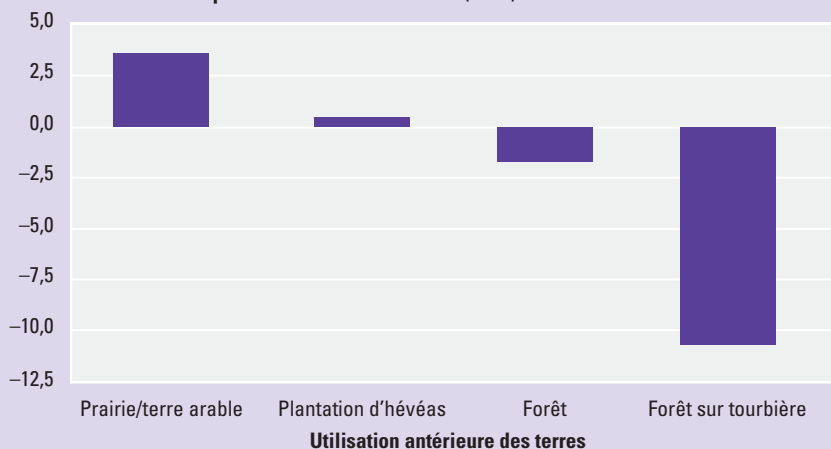
culture offre une possibilité lucrative de diversifier les moyens d'existence. Toutefois, les fruits du palmier doivent être amenés et transformés dans les huileries dans un délai de 24 heures suivant leur récolte, de sorte que les palmeraies sont généralement situées près des huileries. Un pourcentage important des terrains environnants sont ainsi convertis à la culture du palmier à huile, dans le cadre de grandes plantations commerciales, ou dans un ensemble de petites exploitations rapprochées. Certaines pratiques paysagères, comme la création de ceintures agroforestières de transition entre les plantations de palmiers à huile et les zones boisées, peuvent permettre de limiter l'impact négatif des plantations sur la biodiversité tout en offrant d'autres sources de diversification aux petits exploitants. L'intérêt que présente la fabrication de biodiesel à partir de l'huile de palme pour l'atténuation des effets du changement climatique est également discutable. L'analyse détaillée de son cycle de vie montre que la réduction nette des

émissions de carbone dépend de la couverture végétale en place avant la plantation de la palmeraie (figure). Les réductions d'émissions sont importantes là où les plantations ont été implantées sur d'anciennes prairies ou terres arables, tandis que les émissions nettes augmentent fortement si les palmeraies remplacent des forêts tourbeuses.

La possibilité de négocier des réductions d'émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) sur le marché du carbone offre un moyen important de faire la part entre, d'un côté, les valeurs relatives de la production d'huile de palme et du déboisement et, de l'autre, la protection de la forêt. Il sera essentiel de concilier ces deux objectifs pour assurer la protection de la biodiversité et la réduction des émissions. Des études récentes montrent que la conversion de terres en plantations de palmiers à huile pourrait rapporter entre six et dix fois plus que le maintien des terrains en l'état et les paiements effectués au titre des crédits carbone dans le cadre du dispositif de la REDD si les échanges de ces crédits continuent de ne pouvoir s'opérer que sur des marchés volontaires. Si, par contre, les crédits REDD étaient évalués au même prix que les crédits carbone négociés sur les marchés établis pour assurer le respect des limites d'émissions, la conservation des sols serait bien plus rentable, au point qu'elle pourrait même générer des profits supérieurs à ceux produits par l'huile de palme, de sorte qu'il serait moins intéressant de convertir les terres à un usage agricole. Par conséquent, des mesures de REDD bien conçues pourraient effectivement réduire le déboisement et contribuer ainsi aux efforts d'atténuation mondiaux.

Les réductions d'émissions imputables au biodiesel produit à partir d'huile de palme varient beaucoup selon le mode d'utilisation des terres avant l'implantation de la palmeraie.

Réduction d'émissions par tonne de biocombustible (tCO₂)



Source : Henson 2008.

Sources : Butler, Koh et Ghazoul, à paraître ; Henson 2008 ; Koh, Levang et Ghazoul, à paraître ; Koh et Wilcove 2009 ; Venter *et al.* 2009.

La croissance démographique, l'augmentation de la consommation de viande et le changement climatique nécessiteront une forte hausse de la productivité agricole. Les superficies nécessaires pour nourrir l'humanité entière en 2050 dépendront dans une large mesure de la quantité de viande qu'elle consommera. L'alimentation carnée est une source de protéines à forte intensité de ressources car il

faut des terres pour les pâturages et la production de céréales fourragères. Les implications en termes de ressources varient avec le type de viande et le mode de production. La production d'un kilogramme de bœuf peut exiger jusqu'à 15 000 litres d'eau lorsque les animaux sont élevés dans des parcs d'engraissement industriels comme c'est le cas aux États-Unis (figure 3.3)^{73, 74}. En revanche, la production

extensive de bœuf en Afrique ne demande que 146 à 300 litres d'eau par kilo selon les conditions météorologiques⁷⁵. Au kilo, la production de viande de bœuf génère aussi de grandes quantités de gaz à effet de serre, même comparée à la production de viande d'autres animaux, puisque 16 kilos d'équivalent CO₂ (CO₂e) sont émis pour chaque kilo de viande produite (figure 3.4)⁷⁶.

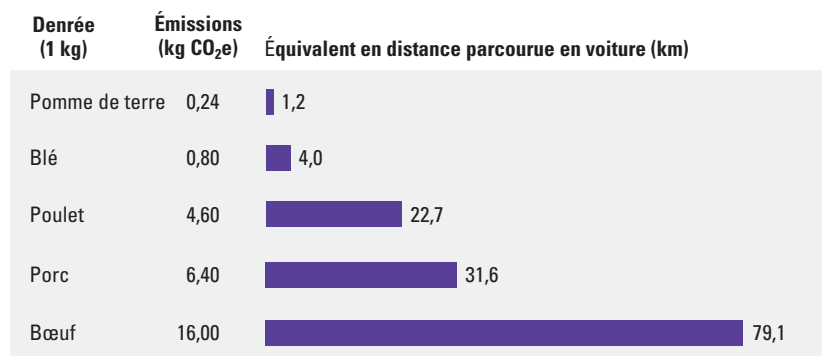
Malgré la consommation de ressources que sa production implique, la demande de viande devrait augmenter avec l'accroissement de la population et des revenus. La consommation de plus grandes quantités de viande profitera aux plus défavorisés qui ont besoin de protéines et d'éléments nutritifs⁷⁷. On compte toutefois que la production de bœuf, de volaille, de porc et de lait en 2050 représentera au moins le double de celle de 2000 pour pouvoir satisfaire la demande d'une population plus nombreuse, en meilleure santé et plus urbanisée⁷⁸.

Le monde va devoir faire face à une demande croissante de denrées alimentaires, de fibres et de biocarburants dans le

contexte d'un changement climatique entraînant une baisse des rendements – tout en préservant les écosystèmes qui stockent le carbone et fournissent d'autres services essentiels. Il est peu probable que des superficies plus importantes puissent être mises en culture. Selon les études consacrées à ce sujet, à l'échelle de la planète, la superficie des terres cultivables sera la même en 2080 qu'aujourd'hui⁷⁹ car l'augmentation des terres cultivables sous les hautes latitudes sera largement compensée par la diminution des superficies cultivables aux basses latitudes.

Il va donc falloir améliorer la productivité agricole (tonnes à l'hectare). Les modèles varient mais selon une étude, la productivité devra augmenter de 1,8 % par an jusqu'en 2055, soit près de deux fois plus que le taux de 1 % par an qui serait nécessaire en l'absence de changement climatique (figure 3.5)⁸⁰. Cela veut dire que les rendements devront plus que doubler en l'espace de 50 ans. De nombreux greniers à blé de la planète, notamment l'Amérique du Nord, ont déjà pratiquement atteint les rendements maxima possibles pour

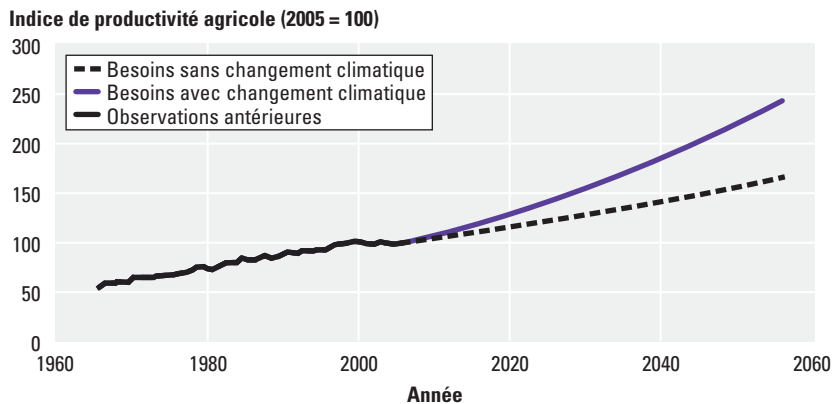
Figure 3.4 L'élevage intensif du bœuf est un secteur très émetteur de gaz à effet de serre



Source : Williams, Audsley et Sandars 2006.

Note : La figure indique les émissions d'équivalent CO₂ en kilogrammes générées par la production (dans un pays industriel) de 1 kilo d'un produit donné. L'équivalent en distance parcourue en voiture correspond au nombre de kilomètres qu'un véhicule à essence, ayant une consommation moyenne correspondant à 11,5 kilomètres au litre de carburant, doit parcourir pour produire la quantité indiquée d'émissions de CO₂e. Par exemple, produire 1 kilo de viande de bœuf ou parcourir 79,1 kilomètres génère 16 kilos d'émissions.

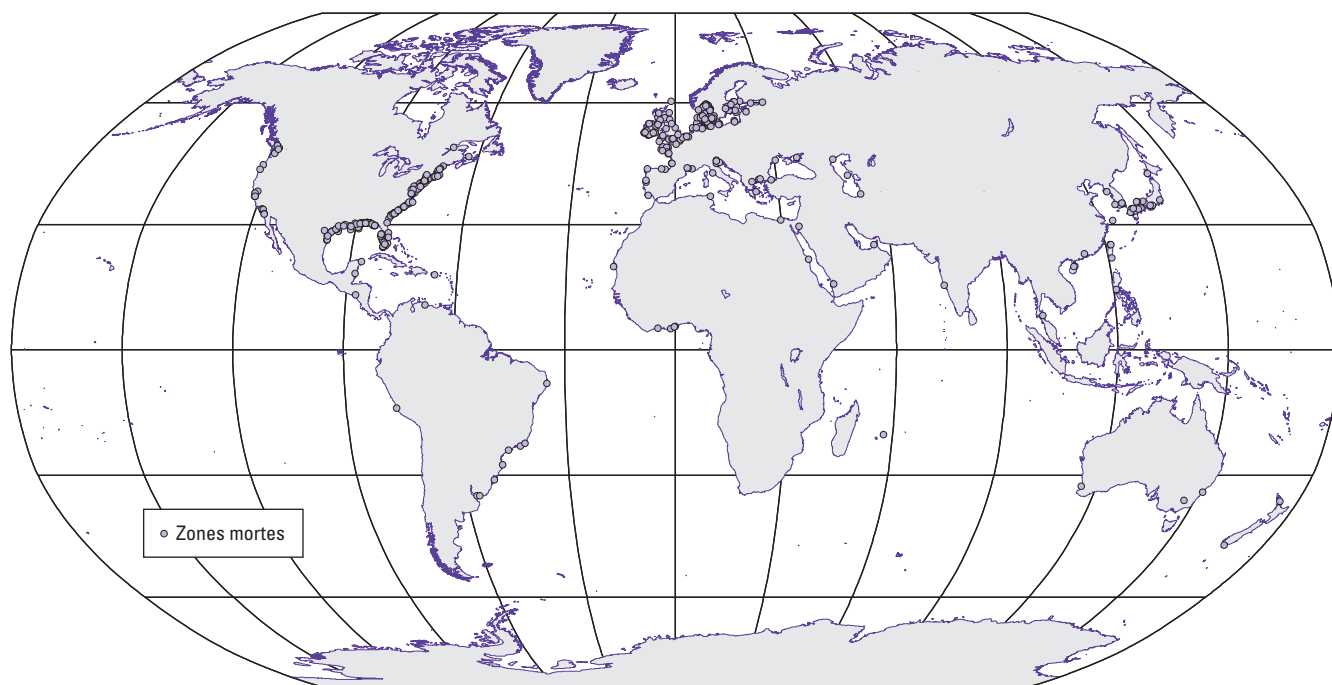
Figure 3.5 La productivité agricole devra augmenter encore plus vite du fait du changement climatique



Source : Lotze-Campen et al. 2009.

Note : La figure décrit la croissance annuelle de l'indice de productivité agricole qui est nécessaire dans deux scénarios. La valeur 100 correspond au niveau de productivité en 2005. Les projections couvrent toutes les grandes cultures alimentaires et fourragères. La ligne en pointillés correspond à un scénario dans lequel il n'y a pas de changement climatique et la population mondiale atteint 9 milliards en 2055 ; la consommation totale de calories par habitant et la part de calories animales dans le régime alimentaire augmentent au même rythme que le revenu par habitant sous l'effet de la croissance économique ; la libéralisation des échanges (qui se traduit par un doublement de la part de la production agricole totale dans le commerce extérieur agricole au cours des 50 prochaines années) se poursuit ; la superficie de terres cultivées continue d'augmenter au rythme de 0,8 % par an observé jusqu'à présent ; et le changement climatique n'a aucun impact. La ligne violette correspond à un scénario dans lequel le climat change, et ses effets, ainsi que leurs répercussions sur la société sont pris en compte (scénario A2 du RSSE établi par le GIEC) : il n'y pas de fertilisation par le CO₂ et les échanges agricoles retombent à leur niveau de 1995 (environ 7 % de la production totale fait l'objet d'échanges internationaux) dans l'hypothèse que la volatilité des prix induite par le changement climatique engendre des réactions protectionnistes et que les mesures d'atténuation freinent l'expansion des superficies cultivées (afin de préserver les forêts) et augmentent la demande de bioénergies (qui atteint 100 EJ [10¹⁸ joules] à l'échelle de la planète en 2055).

Carte 3.4 L'agriculture intensive dans le monde développé a contribué à la prolifération des zones mortes



Source : Diaz et Rosenberg 2008.

Note : Dans le monde développé, l'agriculture intensive a souvent provoqué des dégâts environnementaux importants dus, notamment, au ruissellement d'engrais employés en quantités excessives, qui crée des zones mortes sur le littoral. Les zones mortes sont des zones fortement hypoxiques puisque les concentrations en oxygène sont inférieures à 0,5 millilitre d'oxygène par litre d'eau. Cette situation entraîne normalement une mortalité massive des organismes marins, bien que dans certaines de ces zones, on a trouvé des organismes capables de survivre à des niveaux d'oxygène de 0,1 millilitre par litre d'eau.

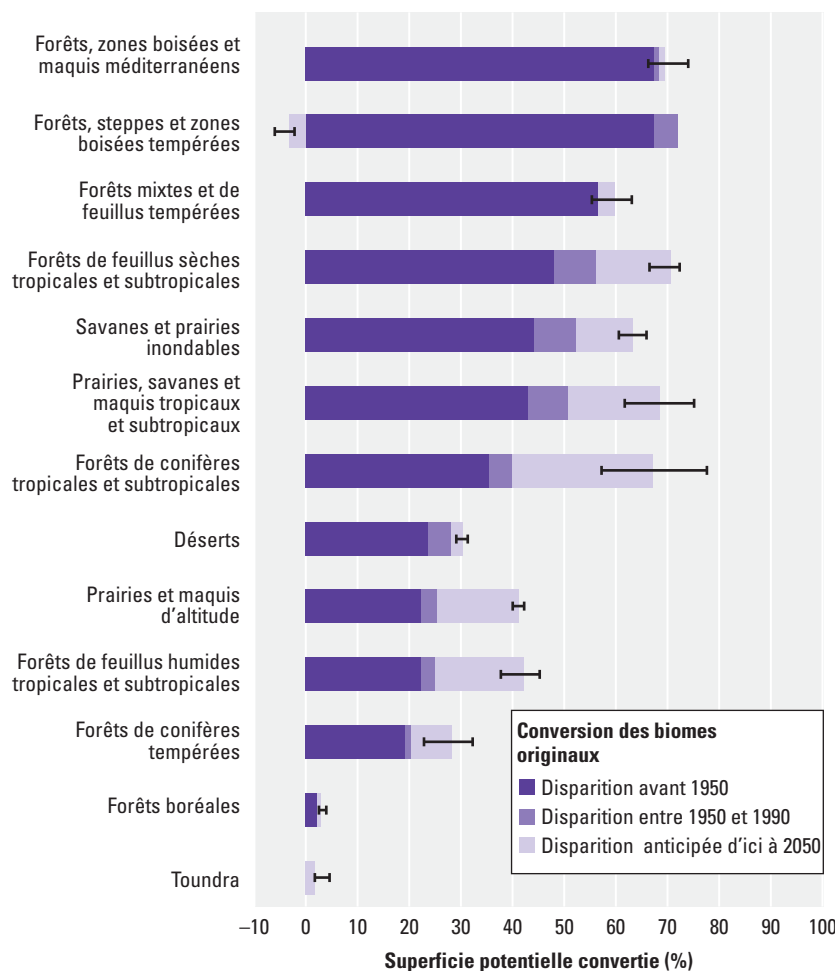
les principales céréales⁸¹, ce qui signifie qu'une grande partie de l'augmentation requise devra se produire dans les pays en développement. Il s'agira, pour ces pays, non seulement d'accélérer la progression des rendements mais aussi d'inverser l'évolution à la baisse récemment observé ; en effet, le taux de croissance annuel des rendements de toutes les céréales s'est ralenti dans les pays en développement, pour tomber de 3,9 % entre 1961 et 1990, à 1,4 % entre 1990 et 2007⁸².

Le changement climatique nécessitera des paysages agricoles très productifs et diversifiés

Les gains de productivité ne doivent pas être réalisés au détriment des sols, de l'eau et de la biodiversité. L'agriculture intensive a souvent un impact négatif sur les systèmes naturels. L'agriculture à haute productivité, telle qu'elle est pratiquée dans une grande partie du monde développé, est généralement le fait d'exploitations spécialisées dans une culture ou dans un type d'élevage et utilise des produits agrochimiques de manière intensive. Ce type d'agriculture peut réduire la qualité et les volumes d'eau disponibles. Depuis les années 60, le lessivage des engrais a provoqué

un accroissement exponentiel du nombre de « zones mortes », déficitaires en oxygène, dans les eaux côtières : ces zones couvrent aujourd'hui quelque 245 000 kilomètres carrés, principalement sur le littoral des pays développés (carte 3.4)⁸³. L'irrigation intensive entraîne aussi souvent l'accumulation de sel dans le sol, qui en diminue la fertilité et réduit la production alimentaire. La salinisation touche actuellement entre 20 et 30 millions d'hectares, sur les 260 millions d'hectares de terres irriguées de la planète⁸⁴.

Il est indispensable d'intensifier l'agriculture par des moyens moins nuisibles pour l'environnement, surtout si l'on considère les problèmes écologiques associés à la poursuite du développement d'une agriculture plus extensive à rendement réduit. Sans hausse des rendements des cultures et de l'élevage à l'hectare, la pression sur les ressources foncières s'accroîtra au fur et à mesure que les surfaces mises en culture ou en pâturage s'étendront dans le cadre d'une production extensive. Depuis le milieu du xx^e siècle, 680 millions d'hectares, soit 20 % des packages de la planète, se sont dégradés⁸⁵. La conversion de terres à un usage agricole a déjà réduit notablement la superficie de nombreux écosystèmes (figure 3.6).

Figure 3.6 Une grande partie des écosystèmes a déjà été convertie à un usage agricole

Source : Évaluation des écosystèmes en début de millénaire 2005.

Note : Les projections reposent sur quatre scénarios décrivant l'importance qui sera accordée dans le monde aux services des écosystèmes. Elles reposent sur différentes hypothèses concernant la gestion des écosystèmes, la libéralisation des échanges, les technologies et le traitement des biens publics.

La Révolution verte illustre à la fois les immenses bienfaits d'une augmentation de la productivité agricole, et ses inconvénients lorsque les solutions technologiques ne sont pas accompagnées de mesures et d'investissements appropriés pour protéger les ressources naturelles. L'emploi de nouvelles technologies, appuyé par des investissements dans des installations d'irrigation et des infrastructures rurales, a permis de doubler la production céréalière en Asie entre 1970 et 1995. La croissance agricole et la baisse correspondante du prix des denrées alimentaires durant cette période ont contribué à pratiquement doubler le revenu réel par habitant, et le nombre de pauvres est tombé d'environ 60 % à 30 % de la population malgré une croissance démographique de 60 %⁸⁶. L'Amérique latine a également enregistré des gains importants. Mais en Afrique, les carences des infrastructures, la cherté des transports, la faiblesse des investissements dans l'irrigation, et la poursuite de politiques des prix et de commercialisation défavorables aux agriculteurs ont été autant d'obstacles à l'adoption des nouvelles tech-

nologies⁸⁷. Même si, globalement, elle est une réussite, la Révolution verte a entraîné dans de nombreuses régions d'Asie des dommages environnementaux liés à un emploi excessif d'engrais, de pesticides et d'eau. Des subventions aux effets pervers et des politiques des prix et du commerce qui ont encouragé la monoculture du riz et du blé ainsi que la consommation intensive d'intrants ont contribué à ces problèmes environnementaux⁸⁸.

Pour permettre aux agriculteurs de mieux résister aux chocs climatiques, il faut diversifier leurs sources de revenus, les choix de production et les matériels génétiques. Le changement climatique créera un monde moins prévisible ; les mauvaises récoltes seront plus fréquentes. La diversification à tous les niveaux offre un moyen de se protéger contre cette incertitude (encadré 3.5). Le premier type de diversification concerne les sources de revenus, dont certaines se trouvent en dehors de l'agriculture⁸⁹. Au fur et à mesure que les superficies des fermes se réduiront et que les prix des intrants

ENCADRÉ 3.5 *Diversification des produits et des marchés : une autre option économique et écologique pour les paysans cultivant des terres à rendement marginal dans les tropiques*

Les régions tropicales sont confrontées à des défis majeurs : la pauvreté persistante des populations rurales, notamment des peuples autochtones, la dégradation des ressources naturelles, l'appauvrissement de la biodiversité, et les effets du changement climatique. La volatilité des prix des produits tropicaux sur les marchés internationaux touche aussi les économies locales. De nombreux agriculteurs du monde entier ont leurs propres mécanismes de survie mais, pour pouvoir améliorer les moyens de subsistance et faire face aux effets anticipés du changement climatique, il faut mettre en place des institutions novatrices et des méthodes originales pour générer des revenus sûrs et assurer la sécurité alimentaire.

Dans ce contexte, la diversification des produits agricoles et agroforestiers ouvre des perspectives très intéressantes de développement intelligent sur le plan climatique. Cette stratégie permet aux agriculteurs de se nourrir et aussi d'avoir en permanence des produits à vendre ou à échanger sur le marché local, même en cas de sécheresse, d'attaques de ravageurs ou de baisse des prix sur les marchés internationaux.

Le cas des petites plantations de café au Mexique est un bon exemple. En 2001 et en 2002, les cours mondiaux ont chuté au point que les prix du café mexicain sont tombés en dessous des coûts de production. Pour venir en aide aux producteurs, l'État de Veracruz a

augmenté les prix du café produit dans la région en créant l'« appellation d'origine de Veracruz » et en ne subventionnant que les exploitants cultivant du café de haute qualité sur des terrains à plus de 600 mètres d'altitude. Cette mesure étant préjudiciable aux milliers de producteurs situés dans les zones de production de moindre qualité en dessous de 600 mètres d'altitude, les autorités publiques de l'État ont invité l'Université de Veracruzana à rechercher des solutions de rechange à la monoculture du café.

Les efforts de diversification des activités des plantations de café productives de basse altitude ont obtenu un appui financier du Fonds commun des Nations Unies pour les produits de base, sous le parrainage et la supervision de l'Organisation internationale du café. Les opérations ont été lancées dans deux communes avec la participation d'un groupe pilote de 1 500 paysans vivant dans des communautés isolées comptant entre 25 et 100 ménages.

Un grand nombre des agriculteurs de café avaient déjà pratiqué la polyculture, ce qui a permis de tester sur chaque parcelle, à côté des caféiers, différentes configurations d'autres espèces ligneuses et herbacées ayant un intérêt économique ou culturel : le cèdre acajou et l'acajou à grandes feuilles (pour le bois et les meubles), le Castilla elastica, le cannellier, la goyave (pour les utilisations alimentaires et phytothérapeutiques), le jatropa (pour les utilisations alimentaires et

énergétiques), le piment de la Jamaïque, le cacao, le maïs, la vanille, le piment fort, le fruit de la passion, en plus du café. Tous les arbres, les herbes et les produits étaient connus dans la région, à l'exception du cannellier. Il existe un marché potentiellement important pour la cannelle, qui est généralement importée. Les agriculteurs apprennent maintenant quelles pratiques et configurations offrent les meilleures perspectives de production dans ce système diversifié novateur. Une entreprise coopérative a constitué des groupes de produits agricoles ayant des valeurs marchandes équivalentes mais différant par leur vulnérabilité aux conditions climatiques, aux ravageurs et aux risques du marché. Les premiers résultats montrent que ces regroupements semblent donner de bons résultats, et améliorent les moyens de subsistance ainsi que la capacité des populations à faire face aux aléas. La coopérative a pu vendre tous les groupes de produits, dont plusieurs à un prix plus élevé qu'avant le démarrage du projet. Un million d'arbres autochtones de haute futaie ont été plantés au cours des deux premières années du projet. D'après les habitants de la région, ces pratiques ont diminué l'érosion et amélioré les sols, ce qui a eu des effets bénéfiques sur l'écosystème environnant et réduit la vulnérabilité aux risques d'inondation associés au changement climatique.

Source : Contribution d'Arturo Gomez-Pompa.

augmenteront, les agriculteurs s'emploieront de plus en plus à diversifier leurs sources de revenus. De fait, dans une grande partie de l'Asie, les petits exploitants et les ouvriers agricoles tirent généralement plus de la moitié du revenu du ménage d'activités non agricoles⁹⁰.

Un second type de diversification consiste à accroître les types de production dans une même exploitation. Les débouchés commerciaux de cultures diversifiées se développent dans beaucoup de régions d'agriculture intensive, du fait de la plus grande ouverture des marchés d'exportation et d'une demande nationale vigoureuse dans les économies en expansion rapide, en particulier en Asie et en Amérique latine⁹¹. Dans ces régions, les cultivateurs peuvent avoir la possibilité de pratiquer aussi l'élevage, l'horticulture, et une

agriculture spécialisée⁹². Ces activités ont habituellement une rentabilité élevée par unité de terre et demandent beaucoup de main-d'œuvre, de sorte qu'elles conviennent aux petites exploitations.

Le troisième type de diversification donne lieu à l'augmentation de la variabilité génétique d'une variété culturelle particulière. La plupart des variétés à rendement élevé utilisées dans les exploitations très productives ont été sélectionnées dans l'hypothèse que les conditions climatiques fluctueraient à l'intérieur d'une enveloppe stable ; les sélectionneurs ont cherché à créer des semences de plus en plus homogènes. Mais dans le contexte du changement climatique, les agriculteurs ne peuvent plus s'appuyer que sur une poignée de variétés adaptées à un ensemble limité

de conditions environnementales. Ils auront besoin de lots de semences contenant, chacun, un matériel génétique suffisamment diversifié pour faire face à différentes conditions climatiques, de manière que, chaque année, certains plants poussent quel que soit le climat. Sur plusieurs années, les rendements moyens obtenus avec des semences variées seront plus élevés que ceux de semences uniformes, même si les rendements observés pour une année « normale » peuvent être moins bons.

Les expériences menées dans le cadre des pratiques culturales types montrent que, lorsqu'elles sont cultivées dans un environnement caractérisé par des concentrations de CO₂ et des températures plus élevées (correspondant aux projections pour 2050 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), les anciennes variétés de blé ou d'orge peuvent pousser plus vite et être plus avantageuses que les variétés plus modernes introduites à la fin du xx^e siècle⁹³. En outre, les plantes sauvages apparentées aux espèces cultivées actuellement contiennent du matériel génétique pouvant contribuer utilement à la création de cultures commerciales plus adaptables à l'évolution du climat. La hausse des températures et des niveaux de CO₂ ont un effet positif plus important sur certaines mauvaises herbes que sur les plantes apparentées cultivées⁹⁴. Le matériel génétique des plantes adventices pourrait donc servir à améliorer les cultivars de cultures commerciales afin de produire des variétés plus résistantes⁹⁵.

Les paysages productifs peuvent intégrer la biodiversité. Les zones protégées constituent bien sûr le maillon central des stratégies de conservation, mais elles ne suffiront jamais à préserver la biodiversité face au changement climatique (voir le thème B sur la biodiversité). Même si le réseau mondial des réserves a pratiquement quadruplé entre 1970 et 2007, pour couvrir environ 12 % des terres de la planète⁹⁶, cela ne suffira toujours pas pour préserver la

biodiversité. Pour pouvoir représenter de manière adéquate les espèces du continent dans des réserves, en couvrant un pourcentage important de leurs aires de répartition, l'Afrique devrait protéger 10 % de plus de ses terres, soit près du double des superficies actuellement protégées⁹⁷. Les réserves, qui couvrent un site géographique fixe et qui sont souvent isolées par la destruction des habitats, ne peuvent pas suivre le déplacement des aires de répartition des espèces provoqué par le changement climatique. Selon les estimations d'une étude consacrée aux zones protégées en Afrique du Sud, au Mexique et en Europe occidentale, entre 6 et 20 % des espèces pourraient disparaître d'ici 2050⁹⁸. En outre, les réserves terrestres actuelles sont toujours menacées par les pressions économiques futures et par des cadres réglementaires souvent déficients et dont le respect n'est guère assuré. En 1999, l'Union internationale pour la conservation de la nature a établi, dans le cas de 10 pays en développement, que moins d'un quart des zones protégées étaient correctement gérées et que plus de 10 % des zones protégées étaient déjà très dégradées⁹⁹. Au moins 75 % des zones forestières protégées dont la situation a été examinée en Afrique manquent de financements à long terme, malgré les interventions de bailleurs de fonds internationaux dans 94 % de ces zones protégées¹⁰⁰.

En gérant l'occupation des sols à l'échelle du paysage, il est possible de favoriser la biodiversité en dehors des zones protégées, ce qui est essentiel étant donné le déplacement des écosystèmes, la dispersion des espèces et la promotion des services des écosystèmes. Le secteur de l'écoagriculture offre des perspectives intéressantes¹⁰¹. L'idée est d'améliorer la productivité des terres cultivées tout en préservant la biodiversité et en améliorant les conditions environnementales sur les terres voisines. En adoptant les pratiques écoagricoles, les fermiers peuvent accroître leur production et diminuer leurs coûts, réduire la pollution agricole et créer des habitats propices à la biodiversité (figure 3.7).

Figure 3.7 Simulation informatique d'une utilisation intégrée des terres en Colombie.



Source : Photographie de Walter Galindo, provenant de la Fondation CIPAV (Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria), en Colombie. La photo représente la Finca « La Sirena », dans la Cordillère centrale, Valle del Cauca. Arango 2003.

Note : La première photo est celle du paysage tel qu'il existe. La deuxième a été générée par ordinateur et montre à quoi ressemblerait la zone considérée si la productivité agricole s'améliorait grâce à l'application des principes de l'écoagriculture. L'augmentation de la productivité aurait pour effet d'atténuer la pression du pâturage sur les coteaux, de protéger les bassins versants, de piéger du carbone par le biais de l'afforestation, et d'étendre les habitats propices à la biodiversité entre les champs.

Des mesures judicieuses de préservation de la biodiversité encouragent les agriculteurs à limiter la conversion des aires naturelles à un usage agricole et à protéger, voire étendre, les habitats de haute qualité sur leurs terres. D'autres mesures sont envisageables, parmi lesquelles la création de réseaux et de couloirs écologiques entre les zones protégées et d'autres habitats. Des études réalisées en Amérique du Nord et en Europe montrent que les terres qui ne sont plus affectées à une production agricole conventionnelle (qui sont mises en réserve) augmentent incontestablement la biodiversité¹⁰².

Les pratiques agricoles favorisant la biodiversité présentent souvent de nombreux avantages annexes ; elles réduisent par exemple la vulnérabilité aux catastrophes naturelles, améliorent les revenus et la productivité agricoles et accroissent la résistance des cultures au changement climatique. L'ouragan Mitch, en 1998, a causé des dégâts aux exploitations pratiquant l'écoagriculture inférieurs de 58 %, 70 % et 99 % à ceux subis par les fermes employant des méthodes conventionnelles au Honduras, au Nicaragua et au Guatemala, respectivement¹⁰³. Au Costa Rica, les plantations brise-vent et les haies ont augmenté les revenus tirés du pâturage et du café par les agriculteurs tout en accroissant la diversité des espèces d'oiseaux¹⁰⁴. En Zambie, le recours à des légumineuses¹⁰⁵ et à des plantes de couverture dans le cadre de pratiques de jachère améliorées a permis d'accroître la fertilité des sols, de faire obstacle aux adventices et de réduire l'érosion et, partant, de pratiquement tripler les revenus agricoles annuels nets¹⁰⁶. La pollinisation par les abeilles est plus efficace lorsque les champs sont plus proches des habitats naturels ou semi-naturels¹⁰⁷ ; ce constat est très important parce que 87 des 107 principales cultures alimentaires du monde dépendent d'animaux pollinisateurs¹⁰⁸. La culture du café sous ombrage peut protéger les plants des températures extrêmes et de la sécheresse¹⁰⁹.

Au Costa Rica, au Nicaragua et en Colombie, les systèmes sylvopastoraux intégrant arbres et pâturages améliorent la viabilité de l'élevage bovin en même temps qu'ils diversifient et accroissent les revenus des fermiers¹¹⁰. Ces systèmes offrent des moyens d'adaptation au changement climatique particulièrement utiles car les arbres gardent leur feuillage pendant la plupart des périodes de sécheresse, fournissent du fourrage et de l'ombre et stabilisent ainsi la production de lait et de viande. Ils permettent également d'améliorer la qualité de l'eau. La production et les revenus de l'agriculture peuvent aller de pair avec la préservation de la biodiversité. De fait, les écosystèmes intacts génèrent fréquemment plus de revenus que ceux qui ont été convertis. À Madagascar, la gestion de 2,2 millions d'hectares de forêt sur 15 ans coûte 97 millions de dollars si l'on tient compte des bénéfices économiques qui auraient été générés par la conversion des terres à un usage agricole. Mais les avantages procurés par une forêt bien gérée (qui tiennent pour moitié à la protection des bassins versants et à la réduction de l'érosion des

sols) ont été évalués à un montant compris entre 150 et 180 millions de dollars pour la même période¹¹¹.

L'expérience accumulée durant des dizaines d'années dans le cadre des activités de développement montre combien il est difficile, en pratique, de protéger les habitats pour promouvoir la biodiversité. De nouveaux mécanismes sont toutefois actuellement mis en place dans le but de fournir d'importantes incitations financières aux propriétaires terriens pour qu'ils cessent de convertir leurs terres. Ces mécanismes comprennent, notamment, des moyens de tirer des revenus des services fournis par les écosystèmes à la société (voir le thème B), la création de servitudes écologiques (qui donnent lieu à des paiements aux agriculteurs qui cessent d'exploiter des terres fragiles)¹¹², et l'émission de droits d'aménagement négociables¹¹³.

Le changement climatique nécessitera l'adoption plus rapide de technologies et de méthodes permettant d'accroître la productivité, de faire face au changement climatique et de réduire les émissions.

Différentes options devront être poursuivies simultanément pour accroître la productivité. La recherche et la vulgarisation agricoles ont souffert de l'insuffisance des financements accordés au cours des dix dernières années. La part de l'aide publique au développement consacrée à l'agriculture est tombée de 17 % en 1980 à 4 % en 2007¹¹⁴, alors même que, selon les estimations, les taux de rentabilité des investissements dans la recherche et la vulgarisation agricoles sont élevés (entre 30 et 50 %)¹¹⁵. Les dépenses publiques de recherche et développement (R-D) agricoles augmentent lentement depuis 1980 dans les pays à faible revenu ou à revenu intermédiaire puisqu'elles sont passées de six milliards de dollars en 1981 à dix milliards de dollars en 2000 (en dollars PPA de 2005), et les investissements privés ne couvrent toujours qu'une faible proportion (6 %) de la R-D agricole dans ces pays¹¹⁶. Il faudra inverser ces tendances pour satisfaire les besoins alimentaires de l'humanité.

L'Évaluation internationale des connaissances agricoles, de la science et de la technologie pour le développement (EICASTD), qui vient de s'achever, montre que, dans le contexte du changement climatique, le développement agricole ne pourra s'effectuer qu'en suivant conjointement des méthodes anciennes et nouvelles¹¹⁷. Tout d'abord, les pays peuvent exploiter le savoir traditionnel des agriculteurs. Ce savoir recouvre une myriade d'options d'adaptation et de gestion des risques spécifiques à certains sites, mais qui peuvent être appliquées de manière plus générale. Deuxièmement, des mesures ayant pour effet de modifier les prix relatifs auxquels sont confrontés les agriculteurs offrent d'excellentes possibilités de promouvoir des pratiques qui aideront le monde à s'adapter au changement climatique (en augmentant la productivité) et à l'atténuer (en diminuant les émissions de l'agriculture).

Troisièmement, l'adoption de pratiques agricoles nouvelles ou non habituelles peut accroître la productivité et réduire les émissions de carbone. Les agriculteurs commencent à se tourner vers l'agriculture « de conservation », qui consiste à travailler le sol le moins possible (les semences sont semées sans labour et la surface du sol est recouverte d'au moins 30 % de résidus), à laisser des résidus de culture, et à pratiquer la rotation des cultures. Ces méthodes peuvent accroître les rendements¹¹⁸, limiter l'érosion et le lessivage des sols¹¹⁹, augmenter l'efficacité de l'utilisation d'eau et de nutriments¹²⁰, réduire les coûts de production et, fréquemment, piéger du carbone¹²¹.

En 2008, 100 millions d'hectares, constituant environ 6,3 % des terres arables du monde, ont été cultivés avec un travail réduit du sol – soit deux fois plus qu'en 2001¹²². Cette pratique est essentiellement employée dans les pays développés, car elle nécessite beaucoup d'équipements et n'a pas été adaptée aux conditions observées en Asie et en Afrique¹²³. Le travail réduit du sol accroît également la complexité de la lutte contre les adventices, les ravageurs et les maladies, qui doit donc être mieux gérée¹²⁴.

En Inde, néanmoins, les agriculteurs pratiquant la culture de riz-blé de la plaine Indo-Gangétique ont utilisé la technique de culture sans travail du sol sur 1,6 million

ENCADRÉ 3.6 Des cultures biotechnologiques pour aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique

Les méthodes classiques de sélection et d'amélioration des plantes ont produit des variétés modernes et permis d'obtenir des gains de productivité importants. À l'avenir, ce sont probablement surtout l'emploi conjoint de techniques de modification génétique permettant de sélectionner les caractères voulus et de méthodes classiques d'amélioration des plantes qui produiront des cultures résistant mieux aux ravageurs, aux sécheresses et aux autres stress environnementaux accompagnant le changement climatique. De nombreuses cultures ayant des caractéristiques génétiquement modifiées sont largement commercialisées depuis une douzaine d'années. En 2007, selon les estimations, les superficies plantées de variétés culturales transgéniques, la plupart modifiées pour résister aux insectes ou tolérer les herbicides, couvraient 114 millions d'hectares, dont plus de 90 % étaient concentrés dans seulement quatre pays (Argentine, Brésil, Canada et États-Unis). Ces technologies vont réduire sensiblement la pollution environnementale, augmenter la productivité des cultures, abaisser les coûts de production et diminuer les émissions d'oxyde d'azote. À ce jour, les chercheurs ont réussi à produire des variétés, par exemple de manioc et de maïs, qui résistent à différents ravageurs et maladies, ainsi que des variétés de soja, de colza, de coton et de maïs qui tolèrent les herbicides. Les agriculteurs qui utilisent des cultures génétiquement modifiées (GM) résistantes aux insectes ont diminué leur consommation de pesticides et le nombre de substances actives dans les herbicides qu'ils utilisent.

Les gènes ayant un effet direct sur les rendements des cultures et ceux qui sont associés à l'adaptation à différents types de stress ont été identifiés et font l'objet d'essais en champ. De nouvelles variétés pourraient améliorer la manière dont les cultures s'accommodent d'une alimentation en eau aléatoire et, peut-être même, dont elles convertissent l'eau. Dans le contexte du changement climatique, il sera d'autant plus crucial de produire des variétés de plantes capables de survivre à des épisodes de sécheresse plus longs. Les premières expériences et essais en champ de cultures GM permettent de penser que des progrès pourraient être possibles sans que les rendements soient affectés durant les périodes hors sécheresse – un problème qui se pose avec les variétés tolérantes à la sécheresse mises au point par les méthodes de sélection classiques. Du maïs tolérant à la sécheresse est près d'être commercialisé aux États-Unis, et est en phase de mise au point pour l'Afrique et l'Asie. Cependant, les cultures GM sont controversées et les questions d'acceptation par le public et d'innocuité doivent être résolues. Les craintes du public portent sur l'aspect éthique, lié à la modification délibérée du matériel génétique, et sur les risques potentiels pour l'innocuité des aliments et l'environnement. Après plus de dix ans, alors qu'aucun cas d'impact négatif de cultures alimentaires GM sur la santé humaine n'a été rapporté, le public reste réticent. Les risques pour l'environnement comprennent la possibilité d'une pollinisation croisée de plantes GM avec des plantes sauvages apparentées, qui créerait des adventices agressives plus

résistantes aux maladies, et l'évolution rapide de nouveaux biotypes de ravageurs adaptés aux plantes GM. Pourtant, les études scientifiques et dix années d'utilisation commerciale montrent que des mesures de précaution appropriées peuvent empêcher le développement d'une résistance chez les ravageurs ciblés et les dommages environnementaux pouvant être générés par la culture commerciale de plantes transgéniques, notamment le flux génétique vers des espèces sauvages apparentées. Il se pourrait que la biodiversité des cultures diminue si un petit nombre de cultivars GM supplantent les cultivars traditionnels, mais ce risque existe aussi avec les variétés obtenues par les méthodes de sélection classiques. L'impact sur la biodiversité peut être réduit si l'on introduit plusieurs variétés d'une culture GM, comme en Inde, où l'on trouve plus de 110 variétés de coton Bt (*Bacillus thuringiensis*). Bien que le bilan des cultures GM soit positif, il est indispensable de mettre en place des dispositifs réglementaires de biosécurité reposant sur des bases scientifiques afin de pouvoir évaluer au cas par cas les risques et les avantages, en comparant les risques potentiels à ceux d'autres solutions technologiques et en tenant compte de la caractéristique particulière considérée et du contexte agroécologique de son utilisation.

Source : Benbrook 2001 ; FAO 2005 ; Gruere, Mehta-Bhatt, et Sengupta 2008 ; James 2000 ; James 2007 ; James 2008 ; Normile 2006 ; Phipps et Park 2002 ; Rosegrant, Cline, et ValmonteSantos 2007 ; Banque mondiale 2007c.

ENCADRÉ 3.7 *Le biochar : une solution prometteuse pour piéger le carbone et augmenter les rendements sur une grande échelle*

Des chercheurs étudiant des sols exceptionnellement fertiles dans le bassin amazonien ont constaté que ces sols avaient été altérés par des processus anciens de production de charbon de bois. Les populations autochtones brûlaient de la biomasse humide (résidus de cultures et fumier) à basse température en l'absence presque totale d'oxygène. Elles obtenaient ainsi une matière solide ressemblant à du charbon de bois et ayant une très haute teneur en carbone, appelée biochar. Ce processus a, depuis, été reproduit dans des installations industrielles modernes de plusieurs pays.

Le biochar se révèle extrêmement stable dans le sol. Les études de la viabilité technique et économique de ce procédé se poursuivent : certains résultats indiquent que le biochar pourrait piéger le carbone dans le sol pendant des centaines voire des milliers d'années, tandis que

d'autres montrent que, dans certains sols, les effets positifs pourraient être beaucoup moins importants. Néanmoins, le biochar peut piéger du carbone qui, sinon, serait rejeté dans l'atmosphère dans le cadre de la combustion ou de la décomposition de la biomasse.

Le biochar pourrait donc fortement contribuer aux efforts d'atténuation. Pour donner un ordre de grandeur, aux États-Unis, la biomasse constituée par les déchets forestiers et agricoles, plus la biomasse qui pourrait être produite sur des terres actuellement en friche, pourraient produire suffisamment de matière pour permettre aux États-Unis de piéger, par cette technique, 30 % des émissions dues à sa consommation d'énergies fossiles. Le biochar peut également améliorer la fertilité du sol. Il se fixe aux nutriments et pourrait ainsi contribuer à régénérer les terres et,

partant, réduire la nécessité d'utiliser des engrais artificiels et, donc, la pollution des cours d'eau. Ce potentiel existe. Mais deux défis doivent être surmontés, qui consistent à démontrer les propriétés chimiques du biochar, et à mettre au point des mécanismes pour pouvoir l'utiliser à grande échelle.

Il importera d'examiner différents aspects de l'utilisation du biochar, notamment pour mettre au point des méthodes permettant de mesurer son potentiel de piégeage du carbone à long terme, évaluer les risques environnementaux, déterminer son comportement dans différents types de sols, sa viabilité économique, et les avantages qu'il pourrait procurer aux pays en développement.

Sources : Lehmann 2007a ; Lehmann 2007b ; Sohi *et al.* 2009 ; Wardle, Nilsson, et Zackrisson 2008 ; Wolf 2008.

d'hectares en 2005¹²⁵. Selon les estimations, en 2007-08, dans deux États indiens (Haryana et Punjab), 20 à 25 % du blé était cultivé par une méthode de travail réduit du sol employée sur 1,26 million d'hectares¹²⁶. Les rendements ont augmenté de 5 à 7 %, et les coûts à l'hectare ont diminué de 52 dollars¹²⁷. Au Brésil, ces pratiques sont utilisées sur près de 45 % des terres arables¹²⁸. La pratique du travail réduit du sol va vraisemblablement continuer de gagner du terrain, surtout si son utilisation donne lieu à la rémunération du piégeage de carbone dans le sol sur un marché du carbone établi pour assurer le respect des limites d'émissions.

Les biotechnologies pourraient profondément modifier les arbitrages qui doivent être faits entre l'imposition de pressions sur les terres et les ressources en eau, d'une part, et la productivité agricole, d'autre part, car elles pourraient permettre d'améliorer les rendements, d'augmenter la capacité d'adaptation des cultures aux sécheresses, à la chaleur et aux autres stress climatiques, d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre, de réduire l'épandage de pesticides et d'herbicides, et de modifier les plantes pour produire de meilleurs biocombustibles (encadré 3.6). Il y a néanmoins peu de chances que des modifications génétiques puissent modifier la productivité de l'eau à brève échéance¹²⁹.

Les pratiques agricoles intelligentes sur le plan climatique améliorent les moyens de subsistance des populations rurales tout en atténuant le changement climatique et en favorisant l'adaptation. L'adoption de nouvelles variétés

culturelles, l'augmentation du nombre d'espèces incluses dans le cycle de rotation des cultures (notamment pour les cultures pérennes), le moindre recours aux terres en friche, la réduction du travail du sol, les cultures de couverture et le biochar peuvent tous contribuer à accroître le stockage du carbone (encadré 3.7). Le drainage des rizières au moins une fois pendant la période de végétation et l'application de résidus de paille de riz sur le sol pendant la contre-saison pourraient réduire de 30 % les émissions de méthane¹³⁰. Il est également possible de diminuer les émissions de méthane des animaux d'élevage en utilisant des aliments de meilleure qualité, des stratégies d'alimentation plus fines et de meilleures pratiques pastorales¹³¹. L'amélioration des pâturages pourrait, à elle seule, réaliser environ 30 % du potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture (1,3 gigatonne de CO₂e par an d'ici 2030 sur 3 milliards d'hectares à l'échelle mondiale)¹³².

Étant donné l'intensification de la production agricole, la question des impacts environnementaux des méthodes employées pour fertiliser les sols va devenir primordiale¹³³. Les pays développés et de nombreuses régions d'Asie et d'Amérique latine peuvent diminuer leur consommation d'engrais afin de réduire à la fois les émissions de gaz à effet de serre et le lessivage des nutriments qui porte atteinte aux écosystèmes aquatiques. En modifiant la fréquence et le calendrier des applications d'engrais, il serait possible de réduire les émissions d'oxyde d'azote provenant des microbes

du sol. L'azote à libération lente¹³⁴ a un meilleur rendement par unité d'azote mais, jusqu'à présent, il s'est révélé trop cher pour beaucoup d'agriculteurs des pays en développement¹³⁵. De nouveaux inhibiteurs biologiques qui réduisent la volatilisation de l'azote pourraient permettre d'atteindre un grand nombre des résultats produits par l'azote à libération lente, à moindre coût. Comme ils n'imposent pas de travail supplémentaire et n'exigent qu'une légère modification de la gestion des activités, ils seront probablement bien accueillis par les agriculteurs¹³⁶. Si des mesures d'incitation encouragent les producteurs et les agriculteurs à adopter les nouvelles technologies de fertilisation et à utiliser les engrais de façon efficace, un grand nombre de pays pourront maintenir leur croissance agricole tout en réduisant leurs émissions et la pollution de l'eau.

En Afrique subsaharienne en revanche, la fertilité naturelle des sols est faible et les pays n'ont pas d'autre choix que d'utiliser davantage d'engrais inorganiques. Des programmes de gestion évolutive intégrée donnant lieu à des essais et des activités de suivi géographiquement ciblées peuvent réduire le risque d'épandage excessif d'engrais. Toutefois, ces programmes sont encore rares dans la plupart des pays en développement, faute d'investissements publics suffisants dans les services de recherche, de vulgarisation et d'information nécessaires à une mise en œuvre réussie – un problème souvent évoqué dans ce chapitre.

Une politique de fertilisation rationnelle, condition nécessaire à l'accroissement de la productivité agricole dans les pays en développement, doit comprendre des mesures visant à mettre les engrais à la portée des populations pauvres¹³⁷. Elle doit aussi intégrer des programmes de plus vaste portée, comme le Programme de promotion des intrants agricoles au Kenya, qui travaille avec des entreprises locales et des filiales des grands semenciers internationaux pour améliorer les intrants agricoles (en formulant des engrais employant des minéraux disponibles sur place, en fournissant des semences améliorées et en distribuant des engrais dans les zones rurales) et promouvoir les bonnes pratiques agronomiques (enfouissage correct des engrais, gestion des sols, et lutte efficace contre les adventices et les ravageurs).

Pêches et aquaculture : Produire plus et mieux protéger

Les écosystèmes marins vont devoir faire face à des stress au moins aussi importants que les écosystèmes terrestres

Les océans ont absorbé environ la moitié des émissions anthropiques depuis 1800¹³⁸, et plus de 80 % de la chaleur générée par le réchauffement climatique¹³⁹. La qualité de leurs eaux, qui se réchauffent et s'acidifient, se modifie de ce fait à un rythme sans précédent, ce qui a des répercussions

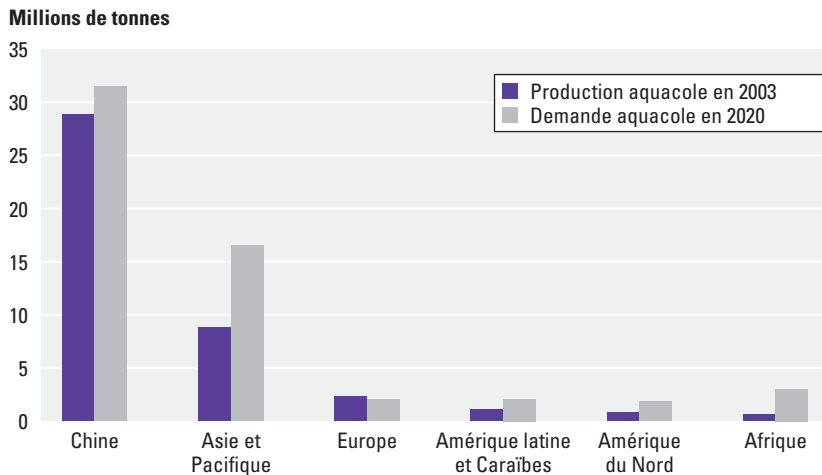
sur l'ensemble du monde aquatique (voir le thème A sur les bases scientifiques du changement climatique)¹⁴⁰.

Une gestion fondée sur l'écosystème peut faciliter une riposte à la crise dans le secteur de la pêche Même si l'on fait abstraction du changement climatique, entre 25 et 30 % des ressources halieutiques marines sont surexploitées, épuisées ou en voie de reconstitution – de sorte que les rendements n'atteignent pas leur potentiel. Environ 50 % des stocks sont exploités à leur maximum : les prises ont atteint les limites viables, ou en sont très proches, sans laisser aucune marge de sécurité. Le pourcentage des stocks sous-exploités ou modérément exploités est passé de 40 % vers le milieu des années 70 à 20 % en 2007¹⁴¹. Il pourrait être possible d'augmenter la valeur des prises – par exemple en diminuant la quantité de poissons pêchés involontairement, estimée à un quart des prises mondiales¹⁴². Les pêches dans les océans de la planète ont probablement atteint leur potentiel, et seules des pratiques plus durables permettront de maintenir la productivité du secteur¹⁴³.

Un mode de gestion écosystémique, qui porte sur l'écosystème dans son ensemble et non pas sur une espèce ou un site particulier et prend en compte les êtres humains en tant qu'éléments faisant partie intégrante du système, peut protéger la structure, le fonctionnement et les processus essentiels des écosystèmes côtiers et marins¹⁴⁴. Les stratégies applicables comprennent la gestion du littoral, la gestion au niveau local, les zones marines protégées, l'imposition de limites à l'effort de pêche et aux engins de pêche, la délivrance de permis de pêche, le zonage, et l'application des lois concernant le littoral. Une bonne gestion des écosystèmes marins implique aussi de gérer certaines activités terrestres afin de minimiser les épisodes d'eutrophisation qui perturbent les écosystèmes marins, par exemple les récifs coralliens, dans de nombreuses régions du monde¹⁴⁵. La valeur économique des récifs coralliens pourrait être considérablement supérieure à celle des activités agricoles qui sont à l'origine du problème¹⁴⁶.

Le monde en développement a déjà remporté quelques victoires. Dans la partie centrale des Philippines, un programme poursuivi sur le site du récif du banc Danajon permet à présent à la biomasse des poissons de dépasser ses niveaux historiques¹⁴⁷. En fait, certains pays en développement mettent en œuvre une gestion basée sur l'écosystème de manière plus efficace que ne le font beaucoup de pays développés¹⁴⁸.

Le changement climatique créera de nouvelles pressions – une hausse prévisible des prix alimentaires, une demande accrue de protéines de poisson, et la nécessité de protéger les écosystèmes marins – qui inciteront peut-être les États à entreprendre des réformes prônées de longue date et consistant, notamment, à ramener les prises à des niveaux viables et à éliminer les subventions aux effets pervers qui encou-

Figure 3.8 La demande de poissons d'élevage augmentera, en particulier en Asie et en Afrique

Source : De Silva et Soto 2009.

ragent la surcapacité des flottes de pêche¹⁴⁹. Le nombre de bateaux de pêche construits chaque année représente moins du dixième de celui enregistré à la fin des années 80, mais la surcapacité continue de poser problème¹⁵⁰. Le coût mondial d'une piètre gouvernance des pêches de capture marines est estimé à 50 milliards de dollars par an¹⁵¹. L'instauration de systèmes fondés sur les droits de pêche peut constituer une incitation individuelle et collective à maintenir les captures à un niveau viable. Ces systèmes peuvent accorder des droits d'accès de différents types, notamment pour la pêche communautaire, et aussi imposer des quotas de pêche individuels¹⁵².

L'aquaculture contribuera à répondre à une demande alimentaire croissante

Les poissons, mollusques et crustacés fournissent aujourd'hui quelque 8 % des protéines animales consommées dans le monde¹⁵³. Le nombre d'habitants de la planète augmentant d'environ 78 millions par an¹⁵⁴, la production de poissons, crustacés et mollusques devra s'accroître chaque année d'environ 2,2 millions de tonnes pour assurer le maintien du niveau de consommation actuel, qui est de 29 kilos par personne et par an¹⁵⁵. Si les stocks de poissons de capture ne se reconstituent pas, seule l'aquaculture permettra de satisfaire la demande future¹⁵⁶.

L'aquaculture a contribué pour 46 % au volume de poissons consommés dans le monde en 2006¹⁵⁷, et affiche un taux de croissance annuel moyen (7 %) supérieur aux taux de croissance démographique observés depuis plusieurs dizaines d'années. Sa productivité a considérablement augmenté pour certaines espèces, dont les prix ont chuté et qui ont trouvé de plus amples débouchés¹⁵⁸. Les pays en développement, principalement dans la région Asie-Pacifique, dominent la production. Les poissons consommés en Chine proviennent à 90 % de l'aquaculture¹⁵⁹.

Les projections de la demande de poissons d'élevage indiquent une évolution à la hausse (figure 3.8), mais le changement climatique aura des répercussions sur l'aquaculture dans le monde entier. L'élévation du niveau de la mer, l'accroissement de l'intensité des tempêtes et l'intrusion d'eau de mer dans les principaux deltas des tropiques vont compromettre l'aquaculture car les espèces aquacoles présentent, en général, une faible tolérance à la salinité, comme le poisson-chat dans le delta du Mékong. Le réchauffement de l'eau dans les zones tempérées pourrait porter les températures au-dessus de la fourchette optimale pour les espèces cultivées. L'incidence et l'impact des maladies aquacoles devraient, de surcroît, augmenter avec les températures¹⁶⁰.

L'aquaculture devrait se développer au rythme de 4,5 % par an entre 2010 et 2030¹⁶¹. Toutefois pour que l'expansion de ce secteur soit durable, il faudra surmonter deux obstacles majeurs. Le premier est l'emploi généralisé de protéines et de graisses de poisson dans la composition des farines utilisées pour nourrir les poissons d'élevage, qui exerce une forte pression sur les stocks de poisson de capture¹⁶². Il faudra que l'aquaculture se développe grâce à l'élevage d'espèces non tributaires d'aliments fabriqués à partir de farines de poisson ; aujourd'hui, 40 % de l'aquaculture dépend d'aliments industriels, produits le plus souvent à partir de ressources marines et côtières déjà en situation de stress¹⁶³. Les aliments aquacoles d'origine végétale (tels que les aliments fabriqués à partir de graines oléagineuses) sont une option prometteuse¹⁶⁴, et certaines exploitations ont remplacé complètement les farines de poisson par des produits végétaux dans l'alimentation des poissons herbivores et omnivores, sans compromettre leur croissance ou les rendements¹⁶⁵. Considéré sous l'angle d'une utilisation rationnelle des ressources, il est souhaitable de privilégier l'élevage des espèces herbivores et omnivores – qui représentent aujourd'hui environ 7 % de la production totale¹⁶⁶.

À titre d'exemple, pour produire un kilo de saumon, de poisson de mer ou de crevettes en aquaculture, il faut utiliser une grande quantité de ressources – entre 2,5 et 5 kilos de poisson sauvage¹⁶⁷.

Le deuxième problème tient aux dommages que l'aquaculture peut causer à l'environnement. L'aquaculture côtière est responsable de la destruction de 20 à 50 % des mangroves de la planète¹⁶⁸ ; si ces destructions devaient se poursuivre, la capacité des écosystèmes de résister à des chocs climatiques serait compromise et les populations du littoral seraient plus vulnérables aux tempêtes tropicales. L'aquaculture peut également entraîner le rejet de déchets dans les écosystèmes marins et contribuer ainsi, dans certaines régions, au processus d'eutrophisation. Il est possible de réduire son impact environnemental en adoptant de nouvelles techniques de gestion des effluents – comme la recirculation de l'eau¹⁶⁹, un meilleur calibrage des aliments, ou encore la polyculture intégrée dans laquelle des organismes complémentaires sont élevés ensemble pour réduire les déchets¹⁷⁰ – et en développant l'aquaculture dans des masses d'eau sous-exploitées telles que les rizières, les canaux d'irrigation, et les plans d'eau saisonniers. Des systèmes intégrés d'agriculture-aquaculture favorisent le recyclage des nutriments, de sorte que les déchets de l'aquaculture peuvent devenir un intrant (engrais) pour l'agriculture, et inversement, ce qui optimise l'utilisation des ressources et réduit la pollution¹⁷¹. Ces systèmes permettent de diversifier les revenus et de fournir des protéines aux ménages dans de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne, d'Amérique latine et d'Asie¹⁷².

Établir des accords internationaux flexibles

Gérer les ressources naturelles afin de faire face au changement climatique suppose d'améliorer la collaboration internationale. Cela suppose aussi des échanges de produits alimentaires plus fiables à l'échelle internationale, pour permettre aux pays d'être mieux en mesure de faire face aux chocs climatiques et à la diminution du potentiel agricole.

Les pays qui partagent des cours d'eau doivent s'entendre sur la façon de les gérer

Environ un cinquième des ressources en eau douce renouvelables de la planète traversent ou forment des frontières internationales, et cette proportion est beaucoup plus élevée dans certaines régions du monde en développement. Or, seulement 1 % de ces eaux sont couvertes par un traité quelconque¹⁷³. En outre, seul un petit nombre des traités existants sur les cours d'eau internationaux couvre tous les pays traversés ou bordés par le cours d'eau en question¹⁷⁴. La Convention des Nations Unies sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, adoptée par l'Assemblée générale de l'Organisation de Nations Unies en 1997, n'est pas encore entrée

en vigueur parce qu'elle n'a pas été ratifiée par un nombre suffisant de pays¹⁷⁵.

Il est indispensable que les pays riverains coopèrent pour faire face aux problèmes associés aux ressources en eau provoqués par le changement climatique. Cette coopération ne pourra se faire que dans le cadre d'accords globaux aux termes desquels tous les pays riverains assumeront la responsabilité de la gestion conjointe et de l'utilisation partagée du cours d'eau et qui prendront en compte la variabilité accrue des ressources en eau par suite aussi bien de sécheresses que d'inondations. En règle générale, les accords relatifs à l'eau allouent des quantités fixes d'eau à chaque partie ; le changement climatique rend ce système problématique. L'établissement des allocations sur la base de pourcentages du volume des écoulements permettrait de prendre davantage en compte la variabilité des débits. Une démarche basée sur un « partage des avantages » serait encore plus optimale puisqu'elle baserait les allocations non plus en termes de volumes d'eau mais en fonction de la valeur économique, sociale, politique et environnementale produite par l'utilisation de l'eau¹⁷⁶.

Les pays devront collaborer pour mieux gérer les ressources halieutiques

Le poisson est le produit alimentaire le plus international. Un tiers de la production mondiale de poisson fait l'objet d'échanges internationaux, soit la proportion la plus forte enregistrée pour tous les produits primaires¹⁷⁷. Face à la diminution de leurs stocks de poisson, les pays d'Europe et d'Amérique du Nord, ainsi que nombreux États asiatiques ont entrepris d'accroître leurs importations de poisson en provenance des pays en développement¹⁷⁸. En raison de cette hausse de la demande, qui vient s'ajouter au suréquipement de certaines flottes de pêche (la flotte européenne a une surcapacité de 40 % par rapport à la capacité compatible avec les stocks de poissons), l'appauvrissement des ressources marines se fera sentir de plus en plus vers le sud de la Méditerranée, dans les eaux de l'Afrique occidentale et dans celles de l'Amérique du Sud. Par ailleurs, bien que le commerce international des pêches se chiffre à plusieurs milliards de dollars par an, les pays en développement ne reçoivent encore que des montants relativement faibles sous forme de redevances des flottes de pêche étrangères opérant dans leurs eaux. Même dans les eaux riches en thon du Pacifique occidental, les petits États insulaires en développement ne reçoivent qu'environ 4 % de la valeur des thons pêchés¹⁷⁹. En modifiant la répartition des stocks de poissons, les réseaux trophiques et la physiologie d'espèces de poissons déjà perturbées, le changement climatique ne fera qu'aggraver la situation¹⁸⁰. Les flottes confrontées à de nouvelles diminutions des stocks iront pêcher encore plus au large, et de nouveaux accords de partage de ressources devront être négociés.

ENCADRÉ 3.8 Les responsables de l'action publique au Maroc doivent rechercher un équilibre difficile pour maîtriser les importations de céréales

Le Maroc, qui a des ressources en eau très limitées et une population en expansion, importe la moitié des céréales qu'elle consomme. Même sans modification du climat, pour pouvoir maintenir ses importations céréalières à 50 % au maximum de la demande sans augmenter la consommation d'eau, il lui faudra réaliser des améliorations techniques pour parvenir à une solution combinant des gains de production allant de 2 % par unité d'eau allouée aux cultures de céréales irriguées à 1 % la production par unité de terrain dans les zones d'agriculture pluviale (ces combinaisons sont décrites par la ligne grise sur la figure). Les effets du réchauffement de l'atmosphère et la diminution des précipitations ajoutent encore à la complexité du problème : les progrès techniques devront être de 22 à 33 % plus rapides qu'en l'absence de changement climatique (selon la combinaison des mesures décidées) (ligne en pointillés sur la figure). Toutefois, si le Maroc veut se protéger davantage des effets des chocs climatiques sur l'agriculture intérieure ainsi que des chocs exercés par les prix du marché, et décide de porter de 50 à 60 % le pourcentage de sa consommation

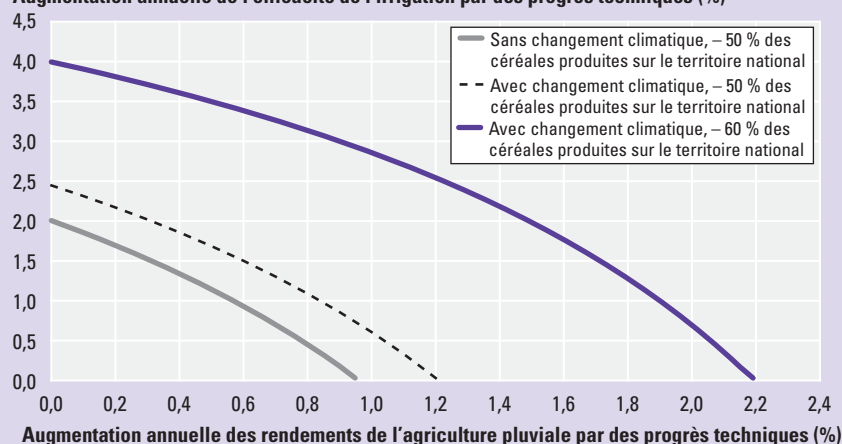
satisfait par la production intérieure, il lui faudra accroître la productivité de l'eau, chaque année, de 4 % dans les terres irriguées, ou de 2,2 % pour l'agriculture pluviale, ou encore toute combinaison des hausses de productivité représentée par un point situé sur la ligne violette. En d'autres termes, une option robuste contre le changement climatique pourrait consister, dans le cas du Maroc, à

introduire des améliorations techniques entre 100 % et 140 % plus rapidement qu'il ne serait nécessaire en l'absence de changement climatique. Seule une hausse beaucoup plus importante des gains d'efficacité intérieurs permettrait au Maroc de réduire ses importations nettes.

Source : Banque mondiale, à paraître a.

Comment parvenir à l'autosuffisance sans augmenter la consommation d'eau au Maroc

Augmentation annuelle de l'efficacité de l'irrigation par des progrès techniques (%)



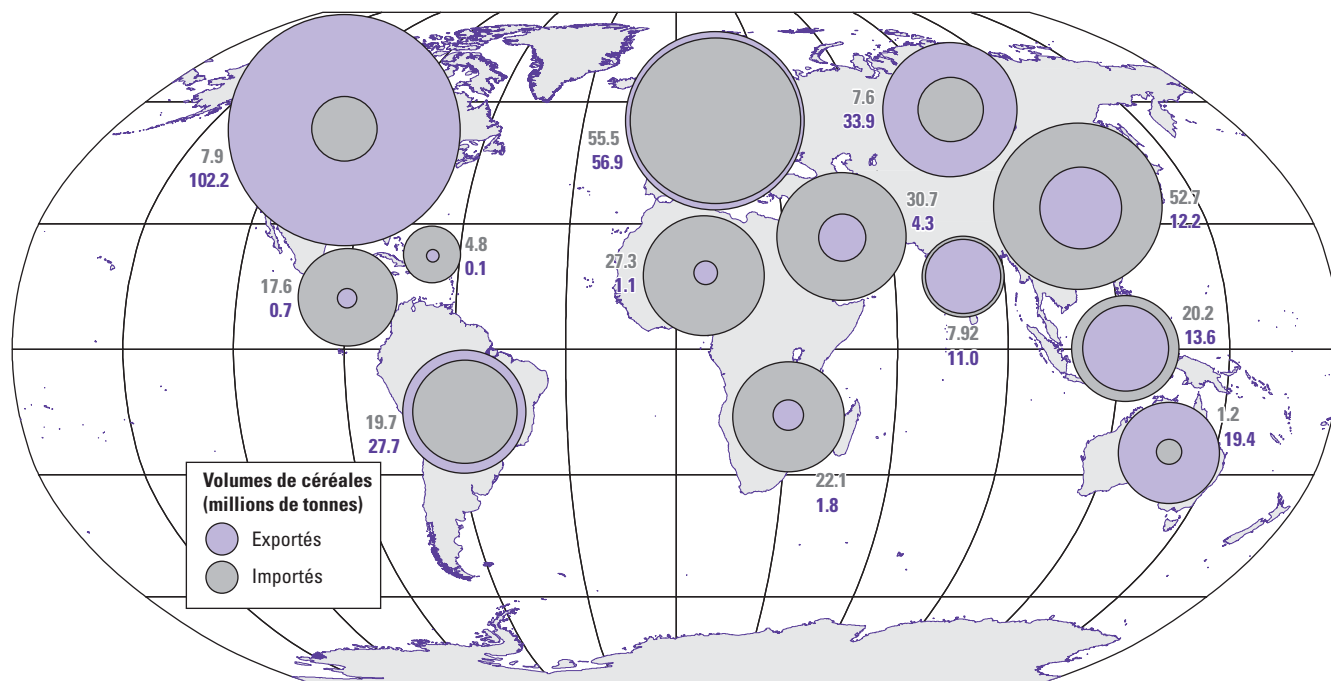
Pour favoriser l'adaptation et réglementer les droits d'accès aux pêcheries, il est important de mettre au point des régimes internationaux, tant juridiques qu'institutionnels, pour la gestion des ressources ainsi que les dispositifs de suivi correspondants. Le renforcement des organisations régionales de gestion des pêcheries pourrait faciliter la conclusion de tels accords¹⁸¹. Le Programme du Grand écosystème marin du courant de Benguela est à cet égard intéressant. L'écosystème du courant de Benguela, qui suit la côte occidentale de l'Angola, de la Namibie et de l'Afrique du Sud, est l'un des plus productifs du monde. Il constitue un réservoir de biodiversité abritant de nombreux poissons, oiseaux de mer et mammifères marins. Au sein de cet écosystème, on peut déjà constater que le changement climatique déplace des tropiques vers le pôle les zones de peuplement de certaines espèces commercialement très importantes¹⁸². Ce déplacement vient s'ajouter aux stress déjà créés par la surpêche, l'exploitation des mines de diamant et la production pétrolière et gazière. L'Afrique du Sud, l'Angola et la Namibie ont fondé la Benguela Current Commission en

2006, qui est la première institution de ce type établie pour un grand écosystème marin. Les trois pays se sont engagés à assurer une gestion intégrée des pêcheries afin de s'adapter au changement climatique¹⁸³.

L'augmentation de la fiabilité des échanges de produits de base agricoles aideront les pays confrontés à des aléas météorologiques extrêmes

Même si les agriculteurs, les entreprises, les pouvoirs publics et les gestionnaires des ressources en eau parviennent à considérablement accroître la productivité des terres et de l'eau, certaines régions du monde ne disposeront pas de quantités d'eau suffisantes pour produire chaque année la totalité des aliments dont ils ont besoin. Toute décision concernant la répartition de l'approvisionnement alimentaire entre importations et production intérieure a des conséquences en termes de productivité agricole et de gestion de l'eau (encadré 3.8). Rechercher l'autosuffisance alimentaire lorsque la dotation en ressources et le potentiel de croissance sont insuffisants aura un coût économique et environnemental élevé.

Carte 3.5 Le commerce mondial des céréales repose sur les exportations d'un petit nombre de pays



Source : FAO 2009c.

Note : Les exportations et les importations annuelles sont des moyennes sur quatre ans (2002–2006).

Beaucoup de pays importent déjà une part importante de leur nourriture – la plupart des pays arabes importent au moins la moitié des calories alimentaires qu'ils consomment – et dans un contexte climatique de plus en plus difficile, tous les pays doivent se préparer à de mauvaises récoltes¹⁸⁴. Le changement climatique accroîtra la sécheresse de pays déjà arides, ce qui aggravera encore les pressions exercées par l'augmentation de la demande entraînée par la progression des revenus et la croissance démographique. Par conséquent, le nombre d'habitants augmentera dans des régions qui importent chaque année une grande part de leurs produits alimentaires. Il augmentera aussi dans des pays dont le secteur agricole est exposé aux chocs provoqués par des phénomènes climatiques extrêmes, dont la probabilité et la gravité seront accrues par le changement climatique. Les projections établies dans le cadre de plusieurs scénarios mondiaux font état d'une hausse de 10 à 40 % des importations nettes des pays en développement par suite du changement climatique¹⁸⁵. D'après les projections, le volume des échanges céréaliers devrait plus que doubler à l'horizon 2050, et celui des échanges de produits carnés devrait plus que quadrupler¹⁸⁶. Par ailleurs, le coefficient de dépendance alimentaire augmentera principalement dans les pays en développement¹⁸⁷.

Comme en témoigne la flambée des prix alimentaires enregistrée en 2008, le marché mondial des produits alimentaires est volatil. Pourquoi les prix se sont-ils envolés ?

Premièrement, les marchés céréaliers sont étroits : seulement 18 % du blé mondial et 6 % du riz mondial sont exportés. Le reste est consommé dans le pays de production¹⁸⁸. Seuls quelques pays exportent des céréales (carte 3.5). Sur un marché étroit, une faible variation de l'offre ou de la demande peut entraîner une modification des prix. Deuxièmement, les stocks alimentaires mondiaux par habitant se trouvaient à l'un des plus bas niveaux jamais enregistrés. Troisièmement, le développement du marché des biocarburants a incité certains agriculteurs à délaisser les cultures à vocation alimentaire, ce qui a contribué notablement à la hausse des prix alimentaires mondiaux.

Quand les pays ne font pas confiance aux marchés internationaux, ils réagissent aux flambées des cours en prenant des mesures qui peuvent aggraver la situation. En 2008, beaucoup de pays ont imposé des restrictions aux exportations ou ont mis en place un système d'encadrement des prix pour tenter de minimiser les effets des hausses de prix sur leurs propres populations. Cela a notamment été le cas de l'Argentine, de l'Inde, du Kazakhstan, du Pakistan, de la Russie, de l'Ukraine et du Viet Nam. L'Inde a interdit les exportations de riz et de légumes secs, et l'Argentine a augmenté les taxes à l'exportation sur le bœuf, le maïs, le soja et le blé¹⁸⁹.

Les interdictions d'exportation et l'alourdissement des droits d'exportation contribuent à accroître l'étroitesse et la volatilité du marché international. À titre d'exemple, les

restrictions imposées sur les exportations de riz par l'Inde touchent durement les consommateurs au Bangladesh et n'incitent guère les riziculteurs indiens à investir dans l'agriculture, qui est un moteur de croissance à long terme. En outre, les interdictions d'exportation favorisent la formation de cartels, sapent la confiance dans le commerce extérieur, et encouragent le protectionnisme. L'encadrement des prix intérieurs peut aussi avoir un effet négatif en empêchant ceux qui en ont le plus besoin de se procurer des revenus et en réduisant l'intérêt qu'ont les agriculteurs d'accroître leur production alimentaire.

Les pays peuvent prendre des mesures pour améliorer l'accès aux marchés Les États peuvent agir unilatéralement pour améliorer leur accès aux marchés alimentaires internationaux. Les petits pays qui ont peu d'influence sur le marché mais qui importent néanmoins un pourcentage élevé de leurs denrées alimentaires ont particulièrement intérêt à le faire. L'un des moyens les plus simples consiste à améliorer les méthodes de passation des marchés. Le recours à des méthodes modernes telles que les procédures électroniques d'appel d'offres et de soumission et à des instruments complexes de crédit et de couverture sont autant de mécanismes qui peuvent permettre aux pouvoirs publics d'obtenir de meilleures conditions sur le marché. Une autre option consiste à assouplir les réglementations nationales qui interdisent les marchés multinationaux, pour permettre aux petits pays de regrouper leurs achats et, ainsi, réaliser des économies d'échelle¹⁹⁰.

Une troisième possibilité consiste à gérer les stocks de manière active. Les pays doivent constituer des stocks nationaux solides et disposer des derniers instruments de couverture des risques, de manière à conjuguer des stocks physiques restreints à des stocks virtuels achetés dans le cadre de contrats à terme et d'options. Les calculs effectués à partir de modèles montrent que, si l'Égypte avait conclu des contrats à terme et pris des options, elle aurait pu réduire de 5 à 24 % la facture d'environ 2,7 milliards de dollars qu'elle a du payer pour acheter du blé entre novembre 2007 et octobre 2008, lorsque les prix sont montés en flèche¹⁹¹. Des actions collectives de gestion des stocks à l'échelle mondiale contribueraient aussi à prévenir une flambée extrême des prix. Une réserve physique de denrées d'ampleur limitée pourrait permettre de répondre sans délai aux urgences alimentaires. La constitution d'une réserve mondiale de produits alimentaires coordonnée au plan international réduirait les pressions qui sont faites sur les pays pour qu'ils assurent leur autonomie céréalière. Par ailleurs, la démarche novatrice consistant à créer une réserve virtuelle pourrait empêcher l'envolée des cours et les maintenir à des niveaux plus proches de ceux justifiés par les fondamentaux du marché à long terme sans grever les réserves mondiales gérées de manière coordonnée¹⁹².

Il est également vital d'assurer des services de transport par tous les temps afin de maintenir un accès aux marchés 365 jours par an, en particulier dans des pays comme l'Éthiopie, où le régime pluviométrique varie considérablement d'une région à l'autre. Des investissements plus importants dans l'amélioration des infrastructures logistiques de la chaîne d'approvisionnement – routes, ports, installations douanières, marchés de gros, ponts-bascules et entrepôts – contribueraient à amener jusqu'aux consommateurs davantage de produits alimentaires à moindre coût. Mais il est aussi nécessaire d'avoir des infrastructures institutionnelles. En matière de douanes et d'entreposage, la transparence, la prévisibilité et l'honnêteté sont aussi importantes que les équipements.

Les pays importateurs peuvent aussi investir dans différents maillons de la chaîne d'approvisionnement dans les pays producteurs. Il pourrait être également possible, et en fait moins risqué, de concentrer les efforts sur les infrastructures de la chaîne d'approvisionnement ou la recherche et le développement agricoles dans les pays producteurs.

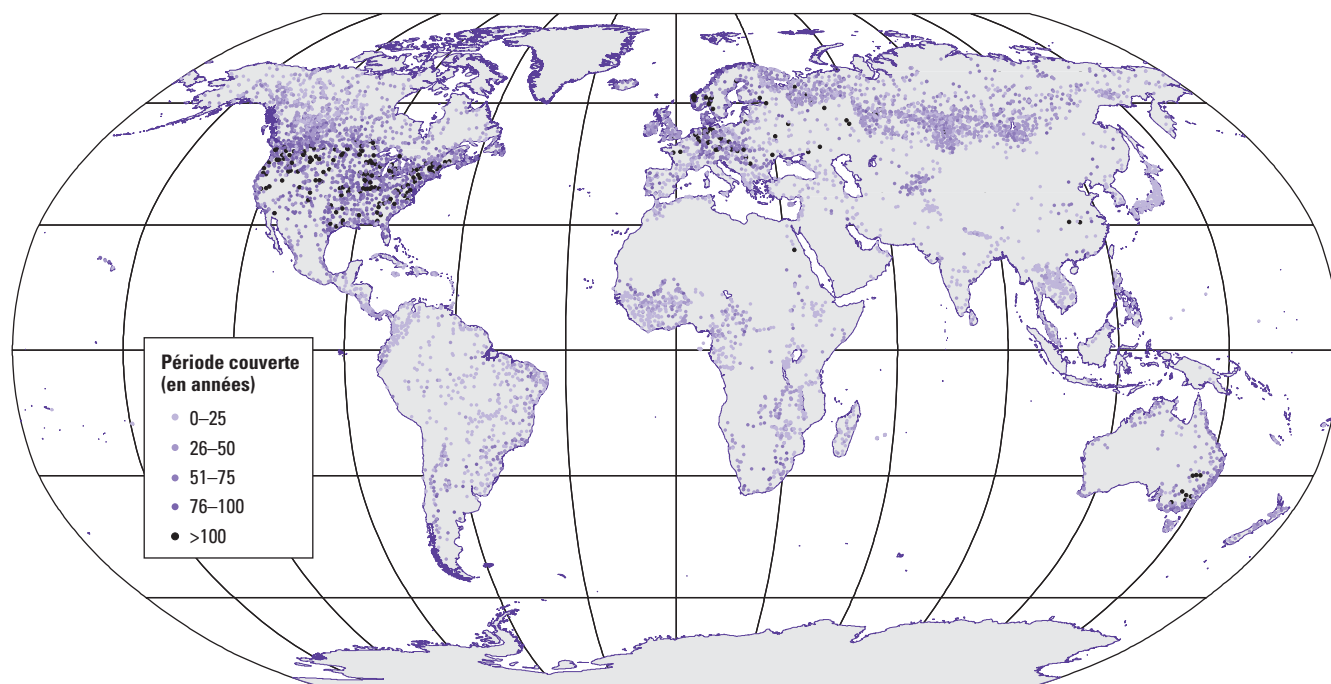
Les règles internationales du commerce continueront de jouer un rôle crucial

Le Programme de Doha pour le développement lancé sous les auspices de l'Organisation mondiale du commerce visait à éliminer les obstacles aux échanges et à améliorer l'accès des pays en développement aux marchés. Mais les négociations ont été suspendues en 2008. Selon une étude, si les dirigeants mondiaux ne parviennent pas à faire aboutir le Cycle de Doha, la valeur du commerce international pourrait enregistrer une perte d'au moins 1,1 milliard de milliards de dollars¹⁹³. La conclusion d'un accord dans le cadre de ces négociations serait un premier pas décisif vers une amélioration du commerce alimentaire international. Les principales mesures concernent le démantèlement des droits effectifs ainsi que la réduction des subventions à l'agriculture et l'allègement des dispositifs de protection dans les pays développés¹⁹⁴.

Des informations fiables : une condition *sine qua non* pour bien gérer les ressources naturelles

Les investissements dans les services météorologiques et climatologiques couvrent eux-mêmes plusieurs fois leur coût, mais ils font cruellement défaut dans le monde en développement

En règle générale, les avantages économiques des services météorologiques nationaux sont entre 5 et 10 supérieurs à leurs coûts¹⁹⁵, voire même 69 fois supérieurs en Chine selon une estimation de 2006¹⁹⁶. Les services météorologiques et climatologiques peuvent dans une certaine mesure atténuer les effets de phénomènes climatiques extrêmes (voir chapitres 2 et 7). D'après la Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles établie par les Nations Unies, les alertes avancées en cas d'inondation peuvent réduire les

Carte 3.6 Les pays développés ont davantage de points de collecte de données et de plus longues séries chronologiques de données sur l'eau

Source : Les données sur la répartition dans le monde et la couverture des séries chronologiques proviennent du Global Runoff Data Center.
 Note : La carte indique le site des stations de suivi des écoulements, qui fournissent des informations sur les écoulements des rivières.

dégâts causés à hauteur de 35 %¹⁹⁷. Un grand nombre de pays en développement, en particulier en Afrique, ont impérativement besoin de meilleurs dispositifs de suivi et de prévision des conditions tant météorologiques qu'hydrologiques (carte 3.6). Selon l'Organisation météorologique mondiale, l'Afrique ne compte qu'une station météorologique pour 26 000 kilomètres carré, soit un huitième du minimum recommandé¹⁹⁸. Il sera aussi important d'assurer des fonctions de sauvetage et d'archivage des données car, pour pouvoir comprendre pleinement la variabilité du climat, il est indispensable de pouvoir analyser des séries chronologiques longues de haute qualité. Un grand nombre des séries de données climatiques existant dans le monde contiennent des données numériques remontant jusqu'aux années 40, mais il n'existe que peu d'archives numériques de toutes les données disponibles antérieures à cette période¹⁹⁹.

De meilleures prévisions permettraient de prendre de meilleures décisions

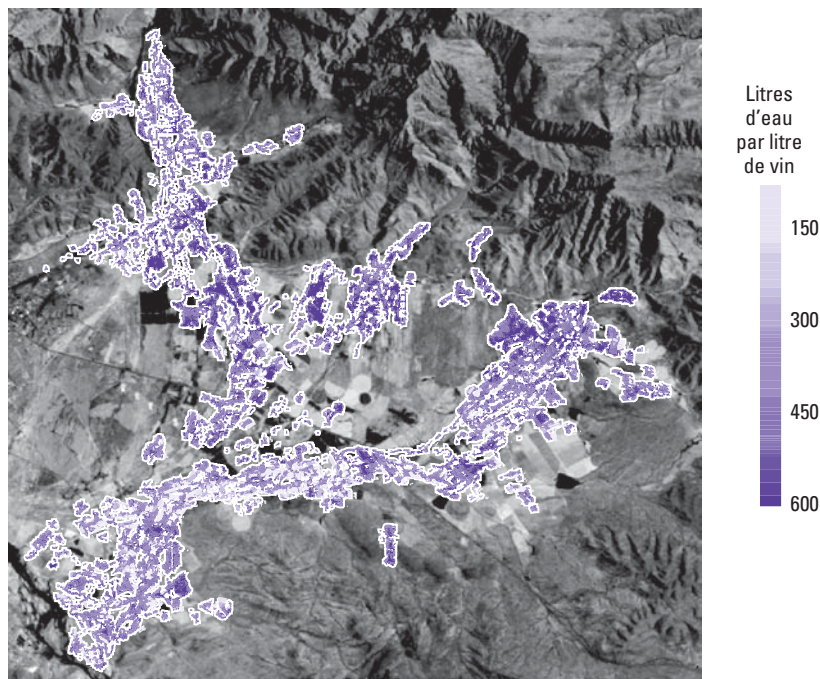
Au Bangladesh, les prévisions relatives aux précipitations couvrent au maximum trois jours ; des prévisions à plus longue échéance donneraient aux agriculteurs le temps de modifier leur calendrier de semis, de récolte et d'application d'engrais, surtout dans les régions d'agriculture pluviale où les crises alimentaires peuvent sévir pendant plusieurs mois. Les prévisions climatiques saisonnières (qui indiquent dans quelle mesure les précipitations et les températures

vont varier sur quelques mois par rapport à la normale) se sont beaucoup améliorées, en particulier sous les tropiques et dans les régions touchées par le phénomène El Niño/oscillation australe (ENSO)²⁰⁰. Il est aujourd'hui possible de prévoir avec une plus grande précision l'arrivée des pluies de la mousson en Indonésie et aux Philippines, et le nombre de jours de pluie pendant une saison dans certaines parties de l'Afrique, au Brésil, en Inde et en Asie du Sud-Est²⁰¹. Les prévisions saisonnières fondées sur ENSO en Amérique latine, en Asie du Sud et en Afrique offrent de bonnes perspectives d'améliorer la production agricole et la sécurité alimentaire²⁰². Au Zimbabwe par exemple, les paysans pratiquant une agriculture de subsistance ont augmenté leurs rendements (d'un pourcentage compris entre 17 % les années où les pluies sont bonnes à 3 % les années où elles sont faibles) lorsqu'ils ont commencé à se fonder sur les prévisions saisonnières pour adapter le calendrier de leurs activités ou la variété de plantes cultivée²⁰³.

De nouvelles technologies de télédétection et de suivi offrent d'excellentes perspectives d'améliorer la gestion des ressources naturelles

L'une des raisons pour lesquelles les responsables de l'action publique ont autant de mal à lutter contre la surexploitation des sols, des ressources en eau et des écosystèmes connexes est que ni les gestionnaires, ni les utilisateurs des ressources ne possèdent d'informations fiables et courantes. Ils ne savent

Figure 3.9 La télédétection est utilisée dans les vignobles du Worcester (province du Cap-Occidental, Afrique du Sud) pour évaluer la productivité de l'eau



Source : Water Watch, www.waterwatch.nl (consulté le 1^{er} mai 2009).

Note : Les viticulteurs dont les parcelles apparaissent en violet clair utilisent quatre fois moins d'eau par litre de vin que ceux dont les parcelles figurent en violet foncé. Les pouvoirs publics peuvent recourir à cette technologie, non seulement pour évaluer la productivité de l'eau mais aussi pour cibler les services de conseil ainsi que les services de contrôle et de surveillance.

pas quelles sont les quantités de ressources disponibles ou utilisées, ni les conséquences qu'auront leurs actions sur les quantités qui seront disponibles à l'avenir. Mais de nouvelles techniques de télédétection commencent à combler une partie de ces lacunes, ce qui permet de prendre des décisions pour allouer l'eau de manière plus rationnelle et de faciliter le respect des limites imposées pour la consommation d'eau.

La mesure de la productivité de l'eau est l'une des applications les plus prometteuses de la télédétection²⁰⁴. En analysant conjointement les images thermiques produites par les satellites et les données recueillies sur le terrain sur les types de cultures pratiquées, puis en reliant ces informations et les cartes des systèmes d'information géographique, les spécialistes peuvent mesurer les rendements à n'importe quelle échelle géographique (exploitation, bassin ou pays). Les gestionnaires des ressources en eau peuvent ainsi prendre de meilleures décisions d'allocation de l'eau et orienter les services de conseil vers les agriculteurs qui affichent la productivité de l'eau la plus faible. Ces données permettent également de prendre en meilleure connaissance de cause des décisions d'investissement importantes – par exemple, pour augmenter la productivité de l'agriculture pluviale ou celle de l'agriculture irriguée. Et elles peuvent aider les gestionnaires à mesurer les résultats produits par des investissements réalisés dans des techniques d'irrigation économes en eau, ce qui était difficile auparavant (figure 3.9).

Il y a encore peu de temps, mesurer la consommation d'eau souterraine était une opération difficile et coûteuse dans tous les pays. Elle n'était tout simplement pas à la

portée de beaucoup de pays en développement. Mesurer les prélèvements de centaines de milliers de puits privés, et installer et relever des compteurs étaient des opérations trop onéreuses. Les nouvelles technologies de télédétection peuvent mesurer l'évaporation et la transpiration totales d'une aire géographique. Si l'on connaît les quantités d'eaux de surface ruisselant sur cette aire sous la forme de précipitations ou d'apports d'eau d'irrigation, il est possible de calculer la consommation nette d'eau souterraine²⁰⁵. Différents pays ont lancé des opérations pilotes consistant à utiliser les données générées par les nouvelles techniques de télédétection pour faire respecter les limites d'utilisation des eaux souterraines, notamment par les agriculteurs marocains qui envisagent de se convertir à l'irrigation au goutte-à-goutte (voir le début du chapitre). Différentes options peuvent être retenues pour faire respecter ces limites, telles que l'installation de pompes qui s'arrêtent automatiquement lorsque l'agriculteur a dépassé la limite d'évapotranspiration fixée, ou des dispositifs qui envoient un texto à l'agriculteur sur son téléphone portable pour l'avertir qu'il va bientôt dépasser la quantité d'eau souterraine allouée à sa parcelle, et informent en même temps les inspecteurs pour qu'ils procèdent au suivi des activités sur la parcelle concernée²⁰⁶.

Les cartes numériques établies à partir des données produites par télédétection aideront les gestionnaires de ressources à de nombreux niveaux.

Les informations obtenues par télédétection permettront de créer des cartes numériques de tous les sols africains,

qui seront très utiles pour assurer une gestion durable des sols. Les cartes pédologiques actuelles ont de dix à 30 ans d'âge et ne sont généralement pas numérisées, de sorte qu'elles ne sont d'aucune aide pour la formulation des stratégies de lutte contre les problèmes de fertilité et d'érosion des sols. Un consortium international a entrepris d'établir une carte mondiale numérisée au moyen des technologies les plus récentes, en commençant par le continent africain²⁰⁷. L'imagerie par satellite et de nouvelles applications permettent désormais aux scientifiques de mesurer les écoulements des cours d'eau, l'humidité des sols et les volumes d'eau stockés (lacs, réservoirs, aquifères, neige et glace) et de prévoir les inondations. Elles permettent aussi de déterminer les rendements des cultures, le stress auquel elles sont soumises, l'absorption de CO₂, les espèces représentées et leur diversité, la couverture des sols et son évolution (par exemple le déboisement), et la productivité primaire. Elles peuvent même cartographier la propagation de toute espèce invasive²⁰⁸. Les échelles varient, de même que le calendrier des mises à jour. Mais grâce à la rapidité des progrès technologiques, les gestionnaires peuvent effectuer des mesures avec une précision et une régularité inimaginables il y a encore quelques années. En fonction du satellite et des conditions météorologiques, les données peuvent être obtenues tous les jours ou même tous les quarts d'heure.

Il sera nécessaire de poursuivre des travaux de recherche et développement pour exploiter pleinement ces nouvelles technologies de l'information.

Les nouvelles technologies et les nouveaux systèmes d'information ouvrent tout un champ d'applications à la gestion des ressources naturelles dans le contexte du changement climatique. Les investissements réalisés dans des données satellite utiles pour gérer les ressources naturelles peuvent être rentables à long terme. Mais leur potentiel est loin d'être exploité, surtout dans les pays les plus pauvres. Une étude menée aux Pays-Bas a conclu que les nouveaux investissements dans des observations par satellite de la qualité de l'eau (eutrophisation, prolifération des algues, turbidité), y compris le coût du satellite, ont 75 % de chances de générer des bénéfices financiers²⁰⁹. Le moment est donc venu pour les investisseurs publics et privés d'injecter des fonds dans la recherche et le développement de ces outils et leurs applications dans les pays en développement²¹⁰.

Des informations plus fiables peuvent rendre les populations locales plus autonomes et faire évoluer la gouvernance des ressources naturelles

Pour gérer les ressources naturelles, les pouvoirs publics sont souvent amenés à formuler et à appliquer des lois, des quotas ou des tarifs, ce qui est très difficile compte tenu des pressions politiques et socioéconomiques – *a fortiori* lorsque les institutions du secteur formel sont déficientes. Toutefois,

lorsque les utilisateurs des ressources sont bien informés des conséquences de leurs actions, il ne leur est plus nécessaire de passer par les pouvoirs publics car ils peuvent collaborer pour réduire la surexploitation, souvent tout en augmentant leurs revenus. Il peut être utile de faire clairement valoir les avantages économiques de réformes, comme en témoigne une étude récente qui a mis en évidence le coût mondial de la piètre gouvernance des pêches de capture maritimes²¹¹.

En Inde, plusieurs exemples montrent comment l'amélioration de l'information a permis de rationaliser la production agricole et d'accroître le bien-être des populations. Dans l'État de Madhya Pradesh, une filiale d'ITC (Indian Tobacco Company) a mis au point un système appelé eChoupals afin de diminuer le coût de ses opérations de passation de marchés et d'améliorer la qualité du soja livré par les agriculteurs. Les eChoupals sont des kiosques Internet installés dans les villages et gérés par des entrepreneurs locaux, qui fournissent aux agriculteurs des informations sur le prix des contrats à terme sur le soja et leur permettent de vendre leur production directement à ITC, sans passer par des intermédiaires et par les marchés de gros (*mandis*). Grâce aux eChoupals, ITC paye moins cher la tonne de soja, et les agriculteurs savent immédiatement le prix qu'ils vont obtenir. Il y a ainsi moins de gaspillage et le travail est plus efficace. Le coût d'investissement initial dans la mise au point des kiosques est recouvert en quatre à six ans²¹².

Un projet parrainé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture en Inde, dans l'État d'Andhra Pradesh, a permis de réduire considérablement la surexploitation des aquifères. Il a eu recours à des méthodes de faible technicité et peu coûteuses pour permettre aux communautés d'évaluer l'état de leurs ressources. Au lieu d'employer des matériels chers et des hydrogéologues, le projet a fait appel à des sociologues et des psychologues pour déterminer la meilleure façon d'inciter les villageois à diminuer leur consommation d'eau. Le projet a formé des « hydrogéologues aux pieds nus » qui avaient pour mission d'expliquer aux populations locales le rôle et le fonctionnement des formations aquifères sur lesquelles reposaient leurs moyens de subsistance (figure 3.10). Ces non-spécialistes, qui sont souvent des paysans analphabètes, génèrent des données tellement intéressantes qu'ils peuvent les vendre aux services hydrogéologiques gouvernementaux. Grâce à ce projet, les villageois ont pris conscience des conséquences de leurs actions, ont reçu des informations sur de nouvelles variétés et techniques culturelles et un mécanisme de régulation sociale s'est mis en place, ce qui les a conduit à accepter de changer leurs cultures et d'adopter des pratiques réduisant les pertes par évaporation.

Le projet, auquel participent près d'un million de paysans, opère totalement sur la base du principe de l'autoréglementation ; il ne donne lieu à aucune incitation financière et n'impose aucune sanction en cas d'infraction. Les

Figure 3.10 En Andhra Pradesh (Inde), les agriculteurs produisent leurs propres données hydrologiques au moyen d'appareils et d'outils très simples, afin de réguler les prélèvements dans les aquifères

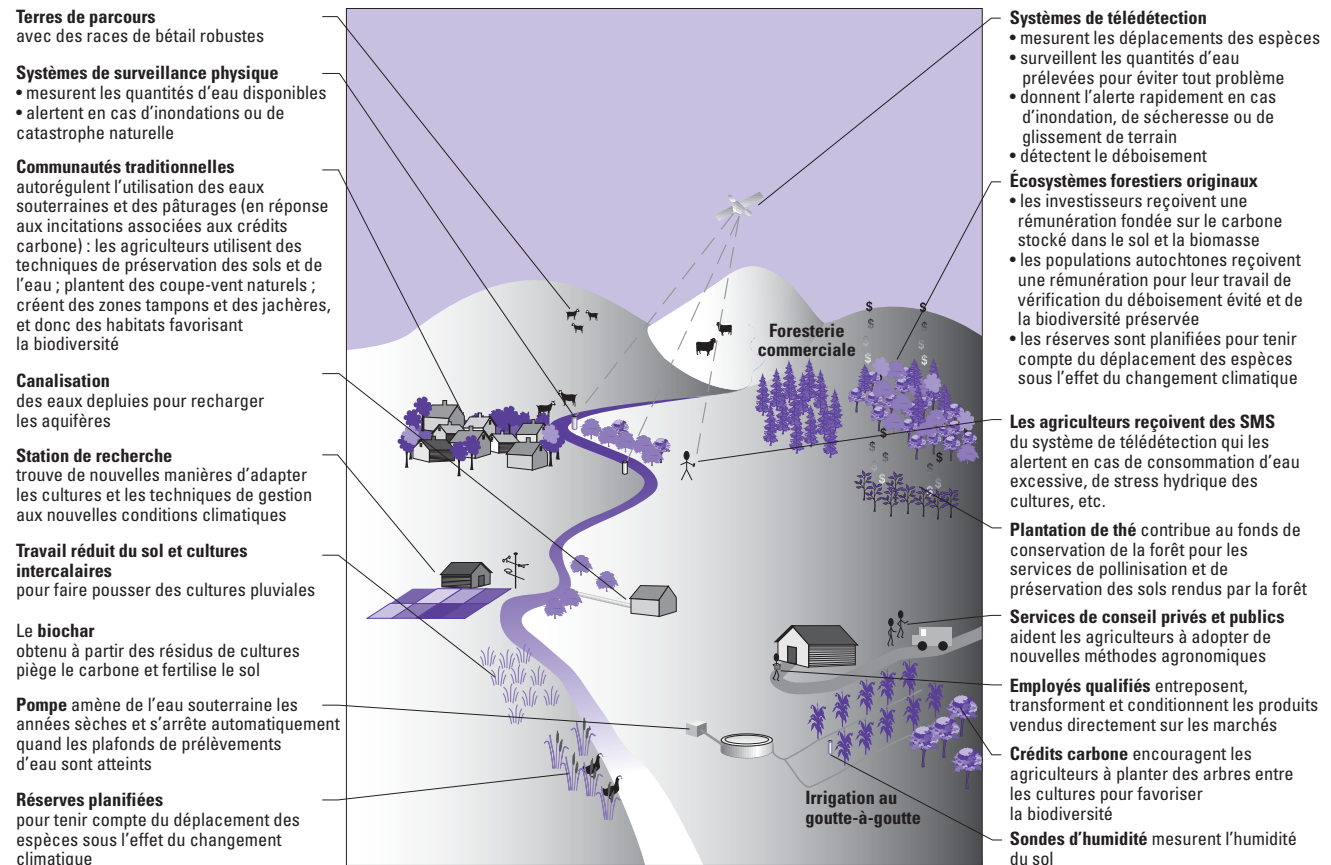


Source : Membres des services de la Banque.
 Note : Sur la base des informations dont il dispose, chaque agriculteur fixe lui-même la quantité limitée d'eau qu'il peut extraire pour chaque période végétative. L'assistance technique les aide à tirer davantage de bénéfices de l'eau qu'ils utilisent en gérant mieux l'eau des sols, en changeant de cultures et en adoptant des variétés différentes.

prélèvements des villages participants ont diminué alors que ceux des villages voisins continuent d'augmenter. Pour une entreprise de cette envergure, le coût est remarquablement bas – 2 000 dollars par an pour chacun des 65 villages²¹³. Le projet peut être facilement reproduit, mais principalement dans des zones où les aquifères sont formés dans une roche dure, se vident et se reconstituent rapidement, et ne présentent pas de vastes couches inférieures étendues communes à d'autres formations géologiques²¹⁴.

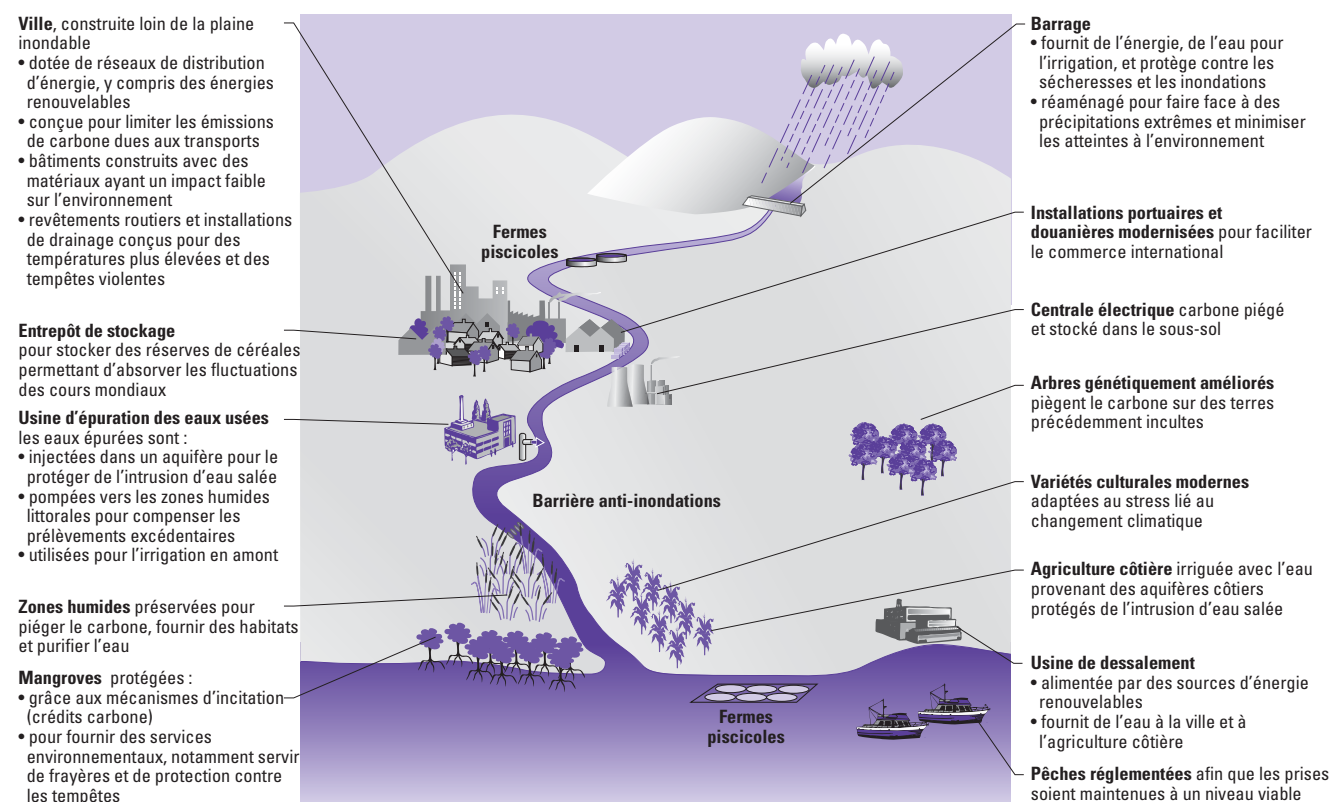
Les initiatives de cette nature qui encouragent les utilisateurs à réduire la surexploitation des ressources naturelles peuvent rendre les populations moins dépendantes d'entités publiques déjà très sollicitées et résoudre des problèmes de gouvernance plus généraux. Les pouvoirs publics peuvent aussi les poursuivre, en collaboration avec les communautés locales, pour changer le comportement des usagers. Le bassin du Hai, le moins riche en eau de tous les bassins chinois, revêt une importance extrême pour l'agriculture. Avec deux bassins adjacents, il produit la moitié du blé chinois. Les ressources en eau du bassin du Hai sont polluées, les écosystèmes de ses zones humides sont menacés, et les eaux souter-

Figure 3.11 Un paysage agricole idéal, intelligent sur le plan climatique, permettrait aux agriculteurs d'utiliser des techniques et des technologies nouvelles pour maximiser les rendements, et donnerait aux gestionnaires des terres la possibilité de protéger les systèmes naturels, les habitats naturels étant intégrés aux paysages productifs.



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

Figure 3.12 Un paysage futur idéal, intelligent sur le plan climatique, utiliserait des techniques flexibles pour absorber les chocs climatiques par les biais d'infrastructures naturelles ou construites et de mécanismes de marché



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

raines sont très surexploitées. Chaque année, le bassin utilise 25 % d'eau souterraine de plus que ce qu'il reçoit sous la forme de précipitations²¹⁵.

Dans ce bassin, les autorités chinoises ont travaillé avec 300 000 agriculteurs pour mettre en place un mode de gestion innovant des ressources en eau. Il ne s'agissait pas simplement d'augmenter la productivité de l'eau, mais plutôt de réduire la consommation totale d'eau. Cette initiative a conjugué des investissements dans des infrastructures d'irrigation et la fourniture de services de conseil pour optimiser l'eau du sol. Elle a limité l'utilisation de l'eau de l'aquifère, mis en place de nouveaux mécanismes institutionnels qui ont donné lieu, notamment, au transfert de la responsabilité de la gestion des services d'irrigation à des groupes d'agriculteurs et à l'amélioration du recouvrement des coûts de l'irrigation par les eaux de surface. Enfin, elle a fait appel aux techniques de suivi les plus modernes, en mesurant la productivité de l'eau et la consommation d'eau souterraine au niveau de chaque parcelle grâce aux données satellite, ainsi qu'à des services agronomiques plus traditionnels. Les activités de suivi apportent aux responsables de l'action publique et aux agriculteurs des informations en temps réel qui leur permettent d'ajuster leurs pratiques et de détecter les infractions²¹⁶.

L'initiative a été couronnée de succès. Les paysans ont augmenté leurs revenus en même temps qu'ils ont réduit leur consommation d'eau en passant à des cultures à plus forte valeur ajoutée. La production des cultures commerciales a triplé, les revenus agricoles ont été jusqu'à quintupler en de nombreux sites, et la production agricole par unité d'eau consommée a augmenté de 60 à 80 %. La consommation totale d'eau dans la région a baissé de 17 %, et le taux de tarissement des eaux souterraines a été ramené à 0,02 mètre par an, contre 0,41 mètre par an en dehors du périmètre du projet.

En résumé, des technologies et des outils sont disponibles ou sont en cours de développement pour aider les agriculteurs et les autres gestionnaires de ressources à gérer les ressources en eau, les sols, les exploitations et les pêcheries. Dans un monde idéal, les personnes compétentes auraient accès à ces technologies et ces outils. Toutefois, ceux-ci ne pourront produire de résultats que dans un contexte caractérisé par des politiques publiques adaptées et des infrastructures appropriées. Ce monde idéal est représenté dans les figures 3.11 et 3.12. De nombreux obstacles ont entravé les efforts déployés par les sociétés depuis des décennies pour s'en rapprocher. Mais la situation évolue, et les progrès pourraient s'accélérer.

Le niveau des prix du carbone, des denrées alimentaires et de l'énergie

Ce chapitre propose un certain nombre de nouvelles démarches pour aider les pays en développement à gérer le mieux possible leurs terres et leurs ressources en eau malgré un surcroît de difficultés générées par le changement climatique. Il rappelle à maintes reprises que les nouvelles technologies et les nouveaux investissements ne seront productifs que si les institutions sont solides et les politiques publiques rationnelles – c'est-à-dire si les fondamentaux sont corrects. Malheureusement, les fondamentaux ne sont pas corrects dans bon nombre des pays les plus pauvres de la planète. Et même dans le meilleur des cas, l'établissement de bons fondamentaux – c'est-à-dire la mise en place d'institutions solides, la transformation des régimes de subvention, et la modification de la manière dont les biens de valeur sont alloués – est un processus de longue haleine.

Pour accroître encore la complexité du problème, un grand nombre des approches proposées dans ce chapitre pour aider les pays à mieux gérer leurs terres et leurs ressources en eau face au changement climatique exigent que les paysans, qui pour beaucoup comptent parmi les êtres les plus pauvres de la planète, modifient leurs pratiques. Elles exigent aussi que les personnes opérant hors la loi (en procédant de manière illégale à des opérations d'abattage ou d'extraction minière), ainsi que des personnes riches et influentes (par exemple de promoteurs immobiliers) mettent un terme à des activités extrêmement lucratives. Ce chapitre propose d'accélérer le rythme d'efforts qui n'ont produit que des résultats, au mieux, modestes, au cours des dernières décennies. Est-il réaliste d'espérer obtenir des transformations d'une ampleur suffisante pour pouvoir réellement s'attaquer aux problèmes que nous pose le changement climatique ?

Trois nouveaux facteurs pourraient créer une dynamique de changement et permettre de surmonter certains des obstacles ayant empêché que des améliorations ne se produisent jusqu'ici. En premier lieu, le changement climatique entraînera vraisemblablement un renchérissement des prix de l'énergie, de l'eau et de la terre, et donc des denrées alimentaires et des autres produits agricoles de base. Cette hausse stimulera l'innovation et favorisera l'adoption de pratiques génératrices de gains de productivité. Elle accroîtra toutefois aussi les profits tirés de la surexploitation des ressources et de la destruction des habitats naturels. Deuxièmement, la fixation d'un prix pour le carbone contenu dans les paysages pourrait encourager les propriétaires fonciers à préserver les ressources naturelles. Si les problèmes de mise en œuvre peuvent être résolus, un mécanisme de ce type permettra de compenser le risque pris par les agriculteurs qui adoptent de nouvelles pratiques. Il pourrait également être le meilleur moyen d'inciter les propriétaires de terres à protéger les systèmes naturels. Troisièmement, si les 258 milliards de dollars absorbés chaque année dans le monde par les subven-

tions à l'agriculture étaient, ne serait-ce qu'en partie, réaffectés à des activités de piégeage du carbone et à la préservation de la biodiversité, ils permettraient de faire la démonstration à l'échelle nécessaire des techniques et méthodes exposées dans ce chapitre.

La hausse des prix de l'énergie, de l'eau et des denrées agricoles pourraient stimuler l'innovation et les investissements axés sur les gains de productivité

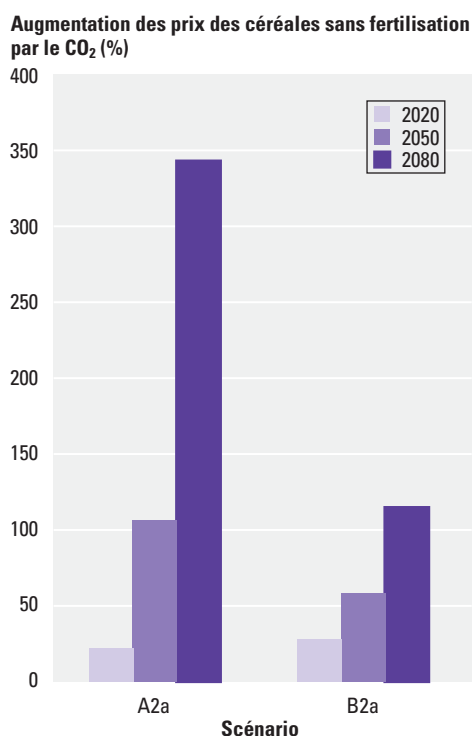
Au cours des prochaines décennies, plusieurs facteurs conjugués leurs effets pour faire monter les prix alimentaires. La demande de denrées alimentaires progressera du fait de l'accroissement démographique et de l'élévation des niveaux de vie. L'augmentation de la production de biocombustibles pourrait intensifier la concurrence pour les terres agricoles et l'eau. Le changement climatique pèsera de plus en plus sur les cultures alimentaires. Et, comme indiqué au chapitre 4, les politiques climatiques risquent fort de provoquer une hausse des prix de l'énergie²¹⁷.

Le prix de l'eau qui doit être pompée augmentera avec la hausse des tarifs de l'électricité. Il sera alors encore plus important d'avoir des mécanismes d'allocation de l'eau bien organisés, et de réduire les fuites qui se produisent dans les réseaux de transport et de distribution de l'eau mal entretenus. Le renchérissement de l'énergie gonflera aussi le coût pour l'État des subventions aux services d'eau. Cela pourrait inciter les pouvoirs publics à engager les réformes et les investissements attendus de longue date dans le domaine de la gestion de l'eau²¹⁸. Et, puisque les engrais sont fabriqués à partir de pétrole, le renchérissement des hydrocarbures favorisera une utilisation plus judicieuse de ces produits.

Les prix alimentaires devraient évoluer à la hausse et être plus volatils à long terme. Les projections établies au moyen des modèles de l'EICASTD font état d'augmentations de 60 à 97 % des prix du maïs, du riz, du soja et du blé entre 2000 et 2050 en l'absence de toute mesure climatique, et de 31 à 39 % pour le bœuf, le porc et la volaille²¹⁹. D'autres simulations du système alimentaire mondial montrent également que les déficits céréaliers causés par l'évolution du climat entraîneront une augmentation des prix alimentaires²²⁰. La plupart des estimations indiquent une hausse des prix des céréales, même lorsque les agriculteurs s'adaptent²²¹. Les projections à l'horizon 2080 produites par différents scénarios font état d'une hausse des prix alimentaires mondiaux de 7 à 20 % en cas de fertilisation par le CO₂, et de 40 à 350 % en l'absence de fertilisation (figure 3.13)²²².

Les populations pauvres, qui dépendent jusqu'à 80 % de leur budget pour se nourrir, seront probablement les plus durement touchés par l'augmentation des prix alimentaires. La hausse des prix associée au changement climatique risque de réduire à néant les progrès réalisés par plusieurs pays à faible revenu sur le plan de la sécurité alimentaire. Bien que les résultats des scénarios diffèrent, presque tous s'accordent

Figure 3.13 Les prix mondiaux des céréales devraient augmenter de 50 à 100 % d'ici 2050



Source : Parry et al. 2004.

Note : La famille A2 de scénarios d'émissions du RSSE établis par le GIEC décrit un monde dans lequel la population continue d'augmenter, où la croissance du revenu par habitant et le rythme du changement technologique varient d'une région à l'autre et sont plus faibles que dans les autres scénarios. La famille de scénarios B2 correspond à un monde où la population mondiale augmente moins vite que dans les scénarios A2, tandis que le développement économique s'effectue à un rythme moyen et le changement technologique est modéré.

sur le fait que le changement climatique exposera un plus grand nombre d'habitants à souffrir de la faim dans les pays les plus pauvres, surtout en Asie du Sud et en Afrique²²³.

À l'instar du renchérissement de l'énergie, le niveau élevé des prix alimentaires a des conséquences profondes sur les ajustements qui peuvent être apportés dans le cadre de l'utilisation des terres et de l'eau du fait du changement climatique. Les investissements dans l'agriculture, la terre et l'eau deviennent plus rentables pour les agriculteurs ainsi que pour le secteur public et le secteur privé. Les entreprises agricoles privées, les organismes d'aide internationale, les banques internationales de développement et les autorités nationales peuvent réagir relativement vite lorsqu'ils notent une hausse des prix mondiaux. Mais ces hausses ne sont répercutées que de manière imparfaite sur les agriculteurs, comme en témoigne la crise des prix alimentaires de 2007-2008. Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne par exemple, les agriculteurs n'ont vu les prix de leurs produits augmenter qu'avec un certain décalage, et leur hausse s'est répercutée plus lentement et moins complètement que dans la majorité des pays d'Asie et d'Amérique latine²²⁴.

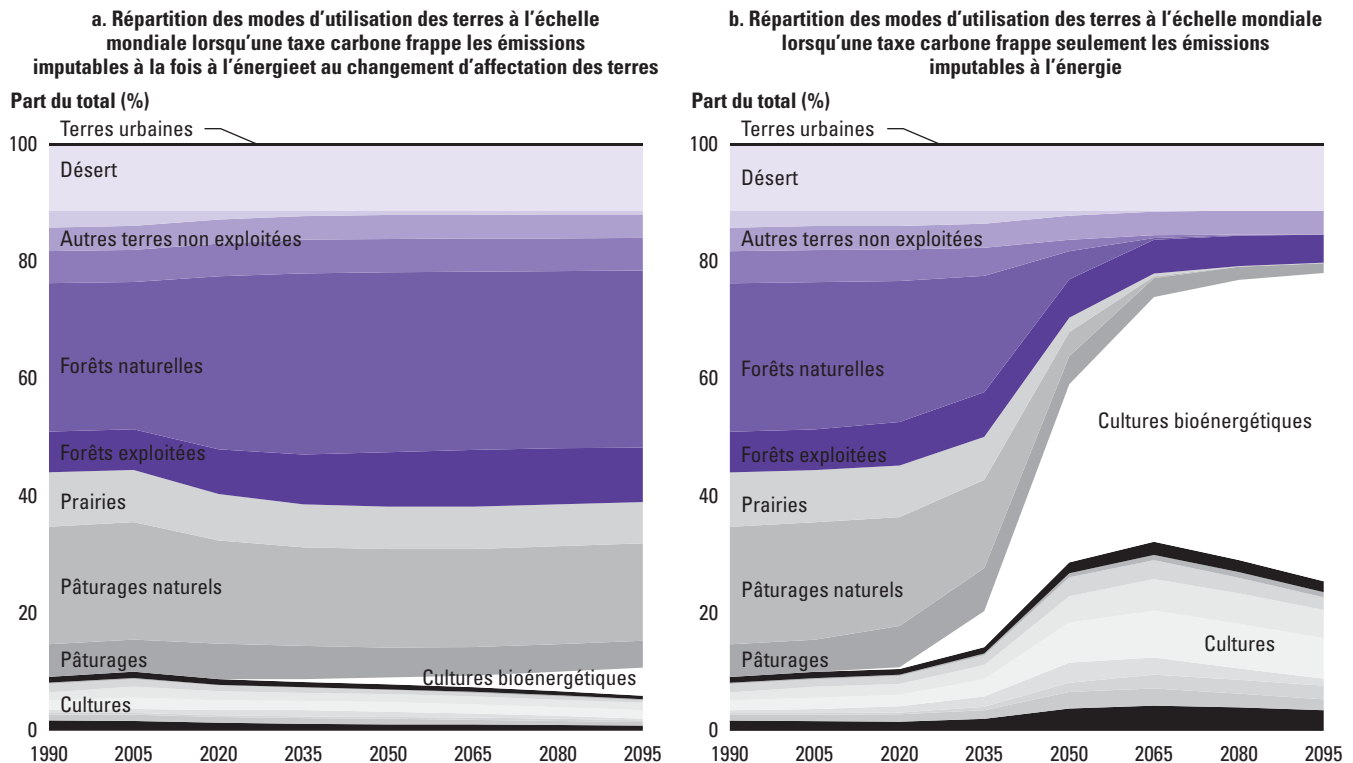
Plus la qualité des infrastructures rurales est élevée et plus les agriculteurs bénéficient de la hausse des prix internationaux. Des prix alimentaires élevés peuvent inciter à convertir des terres à l'agriculture ou l'élevage et avoir ainsi des effets négatifs sur les écosystèmes. Mais ils peuvent aussi générer de nouveaux investissements importants dans la recherche agricole, le développement de l'irrigation et les infrastructures rurales pour intensifier la production. L'augmentation simultanée des prix de l'énergie et des denrées alimentaires permettra aussi à certains grands investissements de redevenir rentables, notamment les grands barrages conçus pour produire de l'électricité et soutenir l'irrigation. Il faudra veiller à ce que les prix élevés des denrées alimentaires procurent les incitations nécessaires à la réalisation d'investissements novateurs et à la mise en œuvre de réformes pour stimuler la productivité agricole tout en assurant une utilisation viable des terres et des ressources en eau.

Un mécanisme international rémunérant les émissions évitées et le carbone piégé dans le cadre de l'agriculture pourrait encourager une meilleure protection des systèmes naturels

Conformément aux termes du Mécanisme pour un développement propre institué par le Protocole de Kyoto, les projets de piégeage du carbone dans les terres agricoles des pays en développement ne peuvent pas générer de crédits carbone qui pourraient être vendus à des investisseurs du monde développé. S'il était décidé que de tels crédits carbone peuvent être émis, le cadre incitatif dans lequel opèrent les agriculteurs et les autres utilisateurs des terres serait fondamentalement transformé. Des marchés du carbone couvrant les gaz à effet de serre émis par l'agriculture et les autres pratiques de gestion des terres pourraient constituer l'un des plus importants moteurs de développement durable dans un monde affecté par le changement climatique. Ces marchés recèlent un immense potentiel, estimé selon une source à au moins 4,6 gigatonnes de CO₂ par an d'ici 2030, ce qui représente plus de la moitié du potentiel de la foresterie (7,8 gigatonnes de CO₂ par an)²²⁵. À 100 dollars la tonne de CO₂e, les réductions potentielles d'émissions provenant de l'agriculture sont du même ordre que celles provenant du secteur énergétique (voir abrégé, encadré 8). D'après les modèles, la tarification du carbone lié à l'agriculture et au changement d'affectation des terres contribuerait à prévenir la conversion d'écosystèmes intacts (les « terres non exploitées » sur la figure 3.14) afin de répondre à la demande croissante de biocombustible.

Bien que les mécanismes de rémunération du piégeage du carbone dans le sol ne soient pas encore au point, les possibilités de réduire les émissions de l'agriculture sont importantes. Même en Afrique, où les terres arides relativement pauvres en carbone couvrent 44 % du continent, les possibilités de piégeage du carbone agricole sont très impor-

Figure 3.14 Une taxe carbone frappant les émissions dues à l'agriculture et au changement d'affectation des terres encouragerait la protection des ressources naturelles.



Source : Wise *et al.* 2009.

Note : Projections basées sur le modèle mondial intégré d'évaluation MiniCAM. Les deux scénarios décrivent une trajectoire qui aboutit à une concentration en CO₂ de 450 ppm à l'horizon 2095. Dans la figure 3.14a, un prix est fixé pour les émissions de carbone dues aux énergies fossiles, à l'industrie et aux changements d'affectation des terres. Dans la figure 3.14b, ce même prix est appliqué seulement aux émissions dues aux énergies fossiles et à l'industrie. Lorsque les émissions terrestres ne sont assujetties à aucun prélèvement fiscal, les cultivateurs ont tendance à empiéter sur les habitats naturels, principalement pour répondre à la demande de biocarburants.

tantes²²⁶. Les projections du potentiel moyen d'atténuation dans l'agriculture vont de 100 à 400 millions de tonnes de CO₂e par an à l'horizon 2030²²⁷. Au prix relativement bas de dix dollars la tonne en 2030, les flux de financement générés seraient comparables au montant annuel de l'aide publique au développement de l'Afrique²²⁸. Une étude de l'élevage pastoral en Afrique montre que des améliorations, même modestes, de la gestion des ressources naturelles pourraient augmenter de 0,5 tonne la quantité de carbone piégée par hectare et par an. Au prix de dix dollars la tonne de CO₂ le revenu des pasteurs augmenterait de 14 %²²⁹.

Le piégeage du carbone dans le cadre de l'activité agricole est une riposte relativement efficace et peu onéreuse au changement climatique. Les coûts d'atténuation estimés pour l'agriculture en 2030 seraient presque dix fois inférieurs à ceux de la foresterie (1,8 dollar par tonne d'équivalent CO₂ contre 13,5 dollars par tonne d'équivalent CO₂)²³⁰, ne serait-ce que parce qu'un grand nombre des techniques agricoles améliorant le piégeage du carbone ont aussi souvent pour effet d'accroître les rendements et les revenus agricoles.

Les techniques permettant de stocker davantage de carbone dans le sol existant, et pourtant elles ne sont pas appliquées. Les raisons sont nombreuses : le manque de connaissances des techniques de gestion convenant aux sols

tropicaux et subtropicaux, des infrastructures de vulgarisation insuffisamment développées pour assurer la diffusion des innovations, l'absence d'un régime des droits de propriété qui encouragerait la réalisation d'investissements portant leurs fruits à long terme mais coûteux à court terme, une fiscalité inadaptée en ce qui concerne les engrais, et les carences des infrastructures de transport.

La communauté internationale pourrait prendre quatre mesures concrètes pour élargir le marché du carbone. Tout d'abord, plutôt que d'essayer d'enregistrer la quantité exacte de carbone émise ou fixée dans chaque champ, les intervenants sur les marchés du carbone (au niveau national et international) devraient s'entendre sur un système de comptabilisation actuariel simplifié permettant de suivre les activités des agriculteurs et de produire des estimations prudentes des quantités de carbone piégées dans le cadre de ces activités²³¹. Il ne serait ni efficace au plan des coûts ni même faisable de mesurer les quantités de carbone piégées dans la multitude de parcelles dispersées des petits exploitants des pays en développement. La méthode proposée est, en outre, transparente et permettrait aux agriculteurs de connaître d'avance les rémunérations et les sanctions associées à différentes activités.

Les processus par lesquels les sols fixent ou émettent du carbone sont complexes. Ils varient d'un endroit à un autre

(même à l'échelle d'un champ) et dépendent des propriétés du sol, du climat, des pratiques culturales, et des utilisations antérieures du sol. Par ailleurs, les variations annuelles sont habituellement faibles par rapport aux stocks existants. Et les quantités piégées cessent rapidement d'augmenter. Les sols dans lesquels le carbone s'accumule sont saturés après environ 15 à 30 ans selon le type d'agriculture pratiquée, après quoi les réductions d'émissions sont peu importantes²³². D'autre part, l'agriculture sans labour sur des sols argileux lourds peut entraîner des dégagements d'oxyde d'azote, qui est un puissant gaz à effet de serre. Ces émissions auraient un impact négatif supérieur aux avantages engendrés par le piégeage du carbone du fait de l'adoption de ces nouvelles techniques pendant les cinq premières années. Pour certains sols, la culture sans labour n'est donc peut-être pas une bonne option pour réduire les émissions de gaz à effet de serre²³³. Il est cependant possible d'estimer de manière approximative les quantités de carbone piégées par type de pratique culturale pour une zone agroécologique et climatique particulière au moyen des données et des modèles disponibles. De plus, il existe aujourd'hui des techniques efficaces par rapport aux coûts qui peuvent servir à mesurer le carbone du sol en champ (laser, géoradar et spectroscopie gamma), et qui permettent de calculer plus vite les quantités de carbone piégées et d'actualiser les estimations des modèles sur des échelles spatiales plus réduites²³⁴. En attendant, les programmes peuvent utiliser des estimations prudentes des quantités piégées dans différents types de sol et se concentrer sur les régions où les stocks et les flux de carbone sont mieux connus (par exemple les régions agricoles très productives). En outre, il n'existe pas de recette universelle de piégeage du carbone (comme le travail réduit du sol) applicable à tous les systèmes culturels et tous les types de sol.

Le Conservation Reserve Program, qui est administré par le ministère de l'Agriculture des États-Unis sur près de 14 millions d'hectares depuis 1986 pourrait servir de modèle pour un système de ce type²³⁵. Ce programme volontaire, créé au départ pour réduire l'érosion des sols, a donné lieu à la rémunération des propriétaires fonciers et d'agriculteurs qui s'engageaient par contrat à retirer de la production pendant une période de dix à 15 ans des terres arables et des pâturages très érodables et écologiquement fragiles. La portée du programme a été élargie par la suite pour inclure la préservation des habitats de la faune et de la flore sauvages et de la qualité de l'eau. Le montant des rémunérations est établi sur la base d'un indice global des avantages environnementaux pour la parcelle et l'activité concernée (zones tampons riveraines, brise-vent...). Les effets positifs réellement générés pour l'environnement par chaque parcelle ne sont pas mesurés directement, mais ils sont estimés sur la base de l'utilisation de la parcelle. Un système similaire, également fondé sur l'utilisation des terres, pourrait être appliqué au piégeage du carbone dans le cadre de l'agriculture²³⁶.

La deuxième mesure concrète consiste à mettre en place des « agrégateurs », c'est-à-dire, en général, des organismes

privés ou des ONG qui réduisent les coûts de transaction associés à chaque activité en regroupant les coûts enregistrés par un grand nombre de petits agriculteurs, habitants des forêts et pasteurs. Sans eux, le marché aura tendance à favoriser les grands projets de reboisement car, dans les pays en développement, les terres du petit exploitant individuel moyen ne peuvent pas piéger de grandes quantités de carbone. Cette intégration spatiale permettra aussi d'atténuer les craintes relatives au caractère incertain et non permanent du stock de carbone. L'adoption d'une méthode actuarielle, le regroupement des projets dans un même portefeuille, et l'emploi d'estimations prudentes pourraient placer le piégeage de carbone dans le sol sur un pied d'égalité avec les réductions des émissions de CO₂ dans d'autres secteurs²³⁷.

Le troisième point concerne les coûts immédiats associés à l'adoption de pratiques de gestion du piégeage du carbone. L'adoption de nouvelles pratiques comporte un risque, surtout pour les paysans pauvres²³⁸. Les fonds générés sur le marché du carbone ne sont généralement versés que lorsque les agriculteurs ont effectivement réduit les émissions (comme dans les projets pilotes menés au Kenya, décrits dans l'encadré 3.9). Mais la promesse de financements de cette nature peut motiver des versements anticipés ayant pour effet de réduire les risques associés aux agriculteurs, soit parce qu'ils servent de sûreté pour un emprunt, soit parce qu'ils constituent des paiements initiaux effectués par les investisseurs.

Enfin, les agriculteurs doivent connaître les options qu'ils peuvent envisager. Cela suppose d'améliorer les services de conseil agricole dans le monde en développement. Les services de vulgarisation agricole constituent un bon investissement : au niveau mondial, leur taux de rentabilité moyen est de 85 %²³⁹. Il faut également des entreprises ou des organismes susceptibles de mesurer ou vérifier les résultats.

Le Chicago Climate Exchange, qui constitue l'un des compartiments du marché volontaire, démontre les avantages que peut procurer la négociation de crédits émis au titre du piégeage du carbone permis par des interventions sur le paysage²⁴⁰. Cette bourse permet aux émetteurs de recevoir des crédits carbone lorsqu'ils emploient de manière systématique des techniques de travail réduit du sol, qu'ils plantent des prairies et qu'ils gèrent les parcours. Pour les crédits carbone agricoles, la bourse exige que les membres placent 20 % de toutes les contreparties de la fixation de carbone dans une provision à titre d'assurance s'ils reviennent ultérieurement à leurs pratiques antérieures. Le Chicago Climate Exchange montre donc que des règles simplifiées et les techniques de suivi modernes peuvent permettre de surmonter les obstacles techniques. Certains détracteurs font toutefois valoir que l'« additionnalité » du marché n'a pas été entièrement évaluée : les réductions nettes des émissions ne sont pas forcément supérieures à ce qu'elles auraient été en l'absence de ce marché.

ENCADRÉ 3.9 *Projets pilotes de marché carbone agricole au Kenya*

Les résultats préliminaires de deux projets pilotes menés dans l'ouest du Kenya montre qu'il serait possible d'étendre le marché du carbone à l'agriculture pratiquée sur de petites exploitations. Le premier projet couvre 86 000 hectares sur lesquels sont pratiquées des polycultures, l'agréateur, dans ce cas, étant une association regroupant 80 000 agriculteurs. Le second projet, plus petit, couvre jusqu'à présent 7 200 hectares de plantations de café, et a pour agréateur une coopérative agricole de 9 000 membres. Dans les deux projets, la taille moyenne des exploitations est petite (environ 0,3 hectare).

Les estimations de la quantité de carbone piégé sont de 516 000 tonnes et de 30 000 tonnes de CO₂e par an, respectivement.

Les activités de piégeage comprennent le travail réduit du sol, les cultures de couverture, la gestion des résidus, le paillage, le compostage, les engrais verts, l'épandage plus ciblé des engrais, la diminution du brûlage de biomasse, et l'agroforesterie. Le suivi des projets se fait sur la base des activités. Les estimations du piégeage du carbone sur 20 ans sont calculées à partir d'un modèle appelé RothC. Le Fonds « biocarbone » de la Banque mondiale achète les crédits carbone au prix par tonne convenu entre le Fonds et les promoteurs des projets, Vi Agroforestry, Swedish Cooperative Centre, et le groupe agroindustriel ECOM. Le montant total des revenus perçus est réparti comme suit : 80 % reviennent à la communauté et 20 % sont affectés aux

opérations de suivi et au développement du projet.

Deux enseignements ressortent de ces projets. Tout d'abord, il est essentiel d'avoir un bon agréateur, capable en particulier de jouer aussi un rôle de conseil en matière de pratiques agricoles. Ensuite, la méthode de suivi doit être simple, accessible et transparente pour l'agriculteur, qui doit pouvoir consulter facilement un tableau afin de déterminer le montant exact qu'il recevra pour chaque activité ; un tel système encourage la participation.

Sources : Kaonga et Coleman 2008 ; Woelck et Tennigkeit 2009.

À court terme, le marché volontaire permet de mettre à l'essai des méthodes de piégeage dans le cadre de l'agriculture ou d'activités au niveau du paysage. Mais pour que ces mesures se développent réellement, il faudra établir des passerelles entre ce marché et le futur marché mondial des réductions de carbone obligatoires. Les économies d'échelle susceptibles d'être réalisées grâce au piégeage du carbone au niveau du paysage seront plus faciles à réaliser s'il n'existe pas de séparation entre le piégeage dans l'agriculture et dans la foresterie.

Les activités de piégeage du carbone ayant en général un impact positif sur la gestion des sols et de l'eau ainsi que sur les rendements²⁴¹, le principal intérêt d'un système de marché du carbone pour la gestion des sols pourrait être l'effet de « levier » qu'il exercerait sur l'adoption des pratiques agricoles durables qui présentent aussi beaucoup d'autres avantages. Selon les estimations, la dégradation des sols en Afrique a réduit la productivité agricole de 25 % entre 1945 et 1990²⁴². Environ 86 % des terres d'Afrique subsaharienne souffrent d'un stress hydrique²⁴³. Des mécanismes effectifs de marché du carbone contribueraient à ralentir la dégradation des sols. Un marché du carbone piégé dans les sols établi pour assurer le respect des limites d'émission pourrait promouvoir dans une mesure considérable la réalisation de l'équilibre nécessaire entre l'intensification de la productivité et la protection des ressources naturelles, et en même temps favoriser le développement rural au profit de certaines des communautés les plus pauvres du monde. Ce marché n'est pas encore prêt. Il faudra résoudre les problèmes techniques de vérification, déterminer l'échelle des activités et établir un calendrier. La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques propose une démarche en plusieurs étapes, qui commence par le renforcement des capacités et donne lieu à

un appui financier. La première de ces étapes donnerait lieu à la démonstration de techniques, de méthodes de suivi et de mécanismes de financement. Dans une deuxième étape, le piégeage du carbone dans le sol serait intégré dans la couverture du marché du carbone établi pour assurer le respect des limites d'émissions²⁴⁴.

La réorientation des fonds consacrés aux subventions agricoles pourrait offrir un moyen important de gérer les sols et l'eau d'une manière intelligente sur le plan climatique

Les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques versent chaque année 258 milliards de dollars aux agriculteurs à des fins de soutien, qui représentent 23 % des revenus agricoles de ces derniers²⁴⁵. Soixante pour cent de cette aide sont accordés sur la base des quantités produites et de l'emploi de différents intrants sans qu'aucune contrainte ne soit attachée à l'utilisation de ces derniers – seulement 2 % des subventions sont accordés au titre de services indépendants des produits cultivés (tels que la création de zones tampons pour protéger les cours d'eau, la préservation des haies, ou la protection d'espèces menacées).

Les impératifs politiques du changement climatique offrent une occasion de réformer ces systèmes de subventions, de les cibler davantage sur des mesures d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ses effets qui présenteraient aussi des avantages pour les sols, les ressources en eau et la biodiversité et accroîtraient, de surcroît la productivité agricole. Outre ces effets directs, l'affectation de ressources de cette ampleur permettrait aussi de déterminer si ces techniques intelligentes sur le plan climatique pourront être appliquées à grande échelle dans le monde en dévelop-

pement, et encourager l'ingéniosité et l'esprit d'entreprise nécessaires pour trouver de nouveaux moyens de résoudre les problèmes techniques et de suivi qui pourront se poser.

L'Union européenne a déjà réformé sa Politique agricole commune : le soutien des niveaux de revenu des agriculteurs est désormais subordonné au respect des normes environnementales et agricoles satisfaisantes, et les soutiens au développement rural financent des mesures visant à améliorer la compétitivité, à gérer l'environnement et les terres, à améliorer la qualité de vie, et à promouvoir la diversification. Par le biais des soutiens au développement rural, les agriculteurs peuvent percevoir des fonds s'ils fournissent des services environnementaux allant au-delà des normes obligatoires²⁴⁶. Cette réforme constitue une initiative prometteuse pour le lancement de politiques agricoles et de gestion des ressources naturelles intelligentes sur le plan climatique et profitables aux agriculteurs, et l'Union européenne pourrait servir de banc d'essai pour des mécanismes susceptibles de promouvoir une gestion viable des terres et de l'eau dans le monde en développement.

Pour faire face aux effets du changement climatique sur les ressources naturelles et réduire en même temps les émissions de gaz à effet de serre, les sociétés humaines doivent produire davantage à partir des ressources en terres et en eau disponibles, et aussi mieux protéger ces dernières. Pour produire davantage, elles doivent augmenter leurs investissements dans l'agriculture et la gestion de l'eau, en particulier dans les pays en développement. Dans le domaine agricole, cela signifie investir dans des routes et dans la recherche et développement, mais aussi mettre en place des politiques plus rationnelles et des institutions plus performantes. Dans le domaine de l'eau, cela veut dire utiliser de nouveaux outils décisionnels et des données de meilleure qualité, renforcer les politiques et les institutions, et investir dans les infrastructures. La hausse escomptée des prix des produits agricoles encouragera les agriculteurs et les autres utilisateurs des ressources à innover et investir. Mais l'augmentation de la rentabilité des activités créera aussi des incitations à surexploiter les ressources. Il faudra déployer

des efforts supplémentaires pour protéger les ressources à la mesure de ceux déployés pour accroître la production.

De nombreux outils, techniques et méthodes existent pour aider les utilisateurs des ressources naturelles à mieux les protéger. Mais les incitations nécessaires pour encourager les utilisateurs à les employer font souvent défaut. La situation varie également dans l'espace et dans le temps. La meilleure option pour un agriculteur n'est pas optimale pour l'ensemble du paysage ou du bassin versant. Ce qui est optimal pour une courte période de temps ne l'est pas sur plusieurs décennies. Pour modifier les manières de procéder, il est nécessaire de demander également aux agriculteurs et aux paysans pauvres de prendre des risques qu'ils ne sont peut-être pas enclins à accepter.

Les autorités gouvernementales et les organismes publics peuvent agir à trois égards pour rendre plus intelligentes au plan climatique les incitations offertes aux utilisateurs des ressources. Tout d'abord, ils peuvent fournir des informations, grâce auxquelles les intervenants pourront faire des choix en connaissance de cause et appliquer les accords de coopération. Il peut s'agir d'informations très techniques, mais aussi de données que les communautés vont recueillir elles-mêmes. Ensuite, ils peuvent établir le prix du carbone maintenu ou stocké dans le sol. Un juste prix réduira les risques que courent les exploitants qui adoptent de nouvelles pratiques. Il aidera aussi les utilisateurs des ressources à replacer leurs décisions dans une perspective à plus long terme. Troisièmement, ils peuvent réorienter les subventions agricoles, en particulier dans les pays riches, de manière à encourager les pratiques de développement rural intelligentes sur le plan climatique. Les mécanismes de subvention peuvent être transformés de manière à montrer comment les nouvelles techniques peuvent être adoptées à grande échelle, et ils peuvent contribuer à mieux adapter les actions individuelles aux besoins du paysage dans son ensemble. Enfin, ils peuvent stimuler l'esprit d'innovation et de créativité nécessaires pour parvenir à concilier la nécessité de nourrir neuf milliards d'êtres humains, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et la protection de la base des ressources naturelles.

« L'environnement de notre planète est menacé par l'action de l'homme : l'abattage des arbres, la pollution de l'air, l'utilisation de matières plastiques qui ne peuvent pas être réutilisées ou recyclées, les produits chimiques dangereux employés dans l'agriculture... Planter des arbres diminuerait les émissions de CO₂. »

— Netpakaikarn Netwong, Thaïlande, 14 ans



Notes

- 1 Voir par exemple Lotze-Campen *et al.* 2009.
- 2 GIEC 2007b.
- 3 OCDE 2008.
- 4 Burke et Brown 2008 ; Burke, Brown, et Christidis 2006.
- 5 Milly *et al.* 2008 ; Barnett, Adam, et Lettenmaier 2005.
- 6 de la Torre, Fajnzylber, et Nash 2008.
- 7 Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau 2009.
- 8 Perry *et al.*, à paraître.
- 9 Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau 2009.
- 10 Banque mondiale, à paraître d.
- 11 Banque mondiale, à paraître d.
- 12 Molden 2007.
- 13 Milly *et al.* 2008 ; Ritchie 2008 ; Young et McColl 2005.
- 14 En tant qu'administrateur public des ressources en eau du pays, l'État sud-africain, par le biais du ministère de l'Eau, doit veiller à ce que les ressources en eau soient protégées, utilisées, mises en valeur, conservées, gérées et contrôlées d'une manière viable et équitable, dans l'intérêt de chacun et conformément à son mandat constitutionnel. Salman M. A. Salman, membre des services de la Banque mondiale, communication personnelle, juillet 2009.
- 15 Dye et Versfeld 2007.
- 16 Bates *et al.* 2008.
- 17 Molle et Berkoff 2007.
- 18 Molle et Berkoff 2007 ; OCDE 2009.
- 19 Olmstead, Hanemann, et Stavins 2007.
- 20 Molle et Berkoff 2007.
- 21 Asad *et al.* 1999.
- 22 Bosworth *et al.* 2002.
- 23 Voir l'accord relatif au bassin Murray-Darling, annexe E, http://www.mdbc.gov.au/about/the_mdbc_agreement.
- 24 Molle et Berkoff 2007.
- 25 Rosegrant et Binswanger 1994.
- 26 Banque mondiale 2007b.
- 27 Bates *et al.* 2008 ; Molden 2007.
- 28 Y Young et McColl 2005.
- 29 <http://www.environment.gov.au/water/mdb/overalllocation.html> (consulté le 7 mai 2009).
- 30 Molden 2007.
- 31 Banque mondiale, à paraître b.
- 32 Banque mondiale, à paraître b.
- 33 Banque mondiale, à paraître b.
- 34 Bhatia *et al.* 2008.
- 35 Strzepek *et al.* 2004.
- 36 Commission mondiale sur les barrages 2000. Pour une analyse de l'impact du Grand barrage d'Assouan sur la fertilité des sols et le littoral du delta du Nil, voir Ritchie 2008.
- 37 Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau 2009.
- 38 Danfoss Group Global. <http://www.danfoss.com/Solutions/Reverse+Osmosis/Case+stories.htm> (consulté le 9 mai 2009).
- 39 FAO 2004b.
- 40 Le dessalement est également viable pour l'agriculture à forte valeur ajoutée dans certaines régions du monde, par exemple l'Espagne. Gobierno de España 2009.
- 41 Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau 2009.
- 42 Molden 2007.
- 43 Molden 2007.
- 44 Molden 2007.
- 45 Rosegrant, Cai, et Cline 2002.
- 46 Par exemple, voir la référence à Indian Financial Express du 1^{er} décembre 2008, citée dans Perry *et al.*, à paraître.
- 47 De Fraiture et Perry 2007 ; Molden 2007 ; Ward et Pulido-Velazquez 2008.
- 48 Perry *et al.*, à paraître.
- 49 Moller *et al.* 2004 ; Perry *et al.*, à paraître.
- 50 Perry *et al.*, à paraître.
- 51 www.fieldlook.com (consulté le 5 mai 2009).
- 52 Perry *et al.*, à paraître.
- 53 Banque mondiale, à paraître c.
- 54 Le dioxyde de carbone (CO₂) est absorbé lors de la photosynthèse, processus par lequel les plantes utilisent la lumière du soleil pour produire des glucides. Ainsi, l'élévation des concentrations de CO₂ aura donc un effet positif sur de nombreuses cultures, et accroîtra l'accumulation de biomasse et le rendement final. Elle a aussi pour effet de réduire les stomates des plantes – les pores par lesquels les plantes transpirent, ou libèrent de l'eau – et donc de diminuer les pertes d'eau. Les plantes dites de type C3, telles que le riz, le blé, le soja, les légumineuses, ainsi que les arbres, devraient profiter de la hausse des concentrations dans une plus large mesure que les plantes de type C4, telles que le maïs, le mil, et le sorgho. Toutefois, les expériences récemment menées sur le terrain montrent que les essais préalables en laboratoire avaient surestimé l'effet positif du CO₂. Selon une étude, par exemple, à des concentrations en CO₂ de 550 parties par million, l'augmentation du rendement est de 13 % pour le blé et non pas 31 %, de 14 % pour le soja et non pas de 32 %, et de 0 % pour les plantes en C4 et non pas 18 %. Cline 2007. C'est pourquoi les figures de ce chapitre n'indiquent que les rendements sans fertilisation par le CO₂.
- 55 Easterling *et al.* 2007.
- 56 BERD et FAO 2008.
- 57 Fay, Block, et Ebinger 2010.
- 58 Un déficit de production alimentaire est enregistré lorsque, par suite des conditions météorologiques, la production potentielle annuelle des cultures les plus importantes dans une région administrative représente moins de 50 % du niveau moyen de la production de la région sur la période 1961-1990. La probabilité que des déficits soient observés dans plus d'une région durant une année donnée étant plus élevée, la possibilité pour une région d'importer des denrées d'autres régions pour compenser son déficit de production s'en trouve réduite, ce qui peut poser des problèmes de sécurité alimentaire. Alcamo *et al.* 2007.
- 59 Easterling *et al.* 2007.
- 60 Cline 2007. Le scénario d'émissions élevées est le scénario A2 du RRSE établi par le GIEC. Lorsqu'il est employé avec différents modèles, il indique une augmentation de la température moyenne de 3,13 °C entre 2080 et 2099 par rapport à la période 1980-99. Meehl *et al.* 2007.
- 61 Lobell *et al.* 2008.
- 62 Schmidhuber et Tubiello 2007.
- 63 D'après cinq modèles climatiques utilisés avec le scénario d'émissions élevées A2 du RSSE. Fischer *et al.* 2005.
- 64 Calculs basés sur FAO 2009c.
- 65 GIEC 2007a.
- 66 Les émissions sont dues à la conversion de terres non exploitées à un usage agricole, et à l'érosion des sols.
- 67 van der Werf *et al.* 2008.
- 68 Steinfeld *et al.* 2006.

69 Ces 18 % correspondent à la somme des estimations des contributions de la production animale aux émissions dans plusieurs catégories, comme l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres, et la foresterie. Ce pourcentage comprend les émissions de gaz à effet de serre du bétail imputables au changement d'affectation des terres (36 %), à la gestion du fumier (31 %), aux émissions directes des animaux (25 %), à la production de fourrage (7 %), aux activités de traitement et aux transports (1 %). Steinfeld *et al.* 2006.

70 AIE 2006. Cette estimation repose sur l'hypothèse que les restrictions actuelles sur les échanges sont maintenues. Si ces restrictions étaient modifiées, en particulier celles qui limitent les importations de biocombustibles aux États-Unis, la répartition régionale de la production pourrait être très différente.

71 Gurgel, Reilly, et Paltsev 2008.

72 NRC 2007 ; Tilman, Hill, et Lehman 2006.

73 Beckett et Oltjen 1993.

74 Hoekstra et Chapagain 2007. Pimentel *et al.* (2004) donnent une estimation de 43 000 litres par kilo de bœuf.

75 Peden, Tadesse, et Mammo 2004. Dans ce système, une tête de bétail consomme 25 litres d'eau par jour pendant deux ans pour produire 125 kilos de viande parée et consomme des résidus de cultures qui ne nécessitent pas d'apport d'eau supplémentaire.

76 Williams, Audsley, et Sandars 2006. De plus, certaines sources donnent des estimations d'émissions plus élevées pour la production de viande – jusqu'à 30 kilos de CO₂e par kilo de bœuf produit, par exemple (Carlsson-Kanyama et Gonzales 2009).

77 Randolph *et al.* 2007 ; Rivera *et al.* 2003.

78 Delgado *et al.* 1999 ; Rosegrant *et al.* 2001 ; Rosegrant, Fernandez, et Sinha 2009 ; Thornton 2009 ; Banque mondiale 2008e.

79 Selon une étude, la superficie de terres agricoles « bonnes » et « très bonnes » disponibles restera pratiquement inchangée à 2,6 milliards et 2 milliards d'hectares, respectivement, en 2080 par rapport à la moyenne de la période 1961–1990 (d'après le modèle climatique HadCM3 du Hadley Centre et le scénario d'émissions très élevées A1F1 du RRSE). Fischer, Shah, et van Velthuizen 2002 ; Parry *et al.* 2004.

80 Lotze-Campen *et al.* 2009.

81 Cassman 1999 ; Cassman *et al.* 2003.

82 Calculés d'après FAO 2009c.

83 Diaz et Rosenberg 2008.

84 Schoups *et al.* 2005.

85 Delgado *et al.* 1999.

86 Hazell 2003.

87 Hazell 2003 ; Rosegrant et Hazell 2000.

88 Pingali et Rosegrant 2001.

89 Reardon *et al.* 1998.

90 Rosegrant et Hazell 2000.

91 Rosegrant et Hazell 2000.

92 Les produits agricoles spécialisés comprennent notamment les aliments dits « fonctionnels ». Il s'agit de produits ayant la forme d'aliments ou de boissons, qui influent sur les fonctions du corps et ont ainsi des effets positifs sur la santé, le bien-être ou les performances au-delà de leur valeur nutritionnelle normale. Citons par exemple des aliments antioxydants tels que le guarana et la baie d'acai, le riz doré et la patate douce à chair orange riches en vitamine A, la margarine enrichie en stérols végétaux afin d'améliorer les niveaux de cholestérol, et les œufs contenant des acides gras oméga 3, bons pour le cœur. Kotilainen *et al.* 2006.

93 Ziska 2008.

94 T. Christopher, « Can Weeds Help Solve the Climate Crisis? » New York Times, 29 juin 2008.

95 Ziska et McClung 2008.

96 PNUE-CMSC 2008. Dans les océans, la part de la superficie protégée est encore plus dérisoire. Environ 2,58 millions de kilomètres carrés, soit 0,65 % de la superficie des océans du globe et 1,6 % de la surface marine totale dans les Zones économiques exclusives, sont des aires marines protégées. Laffoley 2008.

97 Gaston *et al.* 2008.

98 Hannah *et al.* 2007.

99 Dudley et Stolton 1999.

100 Struhsaker, Struhsaker, et Siex 2005.

101 Scherr et McNeely 2008 ; McNeely et Scherr 2003.

102 van Buskirk et Willi 2004.

103 McNeely et Scherr 2008.

104 Chan et Daily 2008.

105 Les arbres légumineux contiennent des nodules bactériens symbiotiques qui fixent l'azote de l'air et enrichissent ainsi en nutriments les plantes et le sol.

106 McNeely et Scherr 2003.

107 Ricketts *et al.* 2008.

108 Klein *et al.* 2007.

109 Lin, Perfecto, et Vandermeer 2008.

110 Banque mondiale 2008a.

111 Banque mondiale 2008a.

112 Sur les 6 milliards de dollars dépensés chaque année au titre de fiducies foncières et de servitudes écologiques, un tiers le sont dans le monde en développement. Scherr et McNeely 2008.

113 Un système typique de zonage de protection consiste à autoriser l'aménagement de certaines zones et à limiter celui-ci dans les secteurs à préserver. Un système de droits d'aménagement négociables est une solution de rechange au zonage pur ; il permet de substituer des zones à d'autres pour atteindre les objectifs de protection et favorise ainsi le respect des obligations de conservation. Certains propriétaires fonciers acceptent de limiter l'aménagement de leurs terres – et donc de limiter leurs droits de propriété – en échange d'une rémunération. Par exemple, l'État peut avoir promulgué une loi disposant que 20 % de la superficie de chaque propriété privée doit être préservé sous forme de forêt naturelle. Un propriétaire foncier ne serait, dans ce cas, autorisé à déboiser au point de tomber sous le seuil de 20 % que s'il achetait à d'autres propriétaires dont plus 20 % des superficies sont boisées des droits d'aménagement correspondant à ces superficies boisées « excédentaires », qui acquièrent alors de manière irréversible le statut de réserve forestière. Chomitz 2004.

114 Banque mondiale 2008c.

115 Alston *et al.* 2000 ; Banque mondiale 2007c.

116 Beintema et Stads 2008.

117 EICASTD 2009.

118 Blaise, Majumdar, et Tekale 2005 ; Govaerts, Sayre, et Deckers 2005 ; Kosgei *et al.* 2007 ; Su *et al.* 2007.

119 Thierfelder, Amezcuita, et Stahr 2005 ; Zhang *et al.* 2007.

120 Franzluebbers 2002.

121 Govaerts *et al.* 2009.

122 Derpsch et Friedrich 2009.

123 Derpsch 2007 ; Hobbs, Sayre, et Gupta 2008.

124 Banque mondiale 2005.

125 Derpsch et Friedrich 2009 ; Erenstein et Laxmi 2008.

126 Erenstein 2009.

127 Erenstein *et al.* 2008.

- 128 de la Torre, Fajnzylber, et Nash 2008.
- 129 Passioura 2006.
- 130 Yan *et al.* 2009.
- 131 Thornton 2009.
- 132 Smith *et al.* 2009.
- 133 Doraiswamy *et al.* 2007 ; Perez *et al.* 2007 ; Singh 2005.
- 134 Par exemple l'enfouissement profond de briquettes ou de granulés d'urée.
- 135 Singh 2005.
- 136 Singh 2005.
- 137 Poulton, Kydd, et Dorward 2006 ; Dorward *et al.* 2004 ; Pender et Mertz 2006.
- 138 Hofmann et Schellnhuber 2009 ; Sabine *et al.* 2004.
- 139 Hansen *et al.* 2005.
- 140 FAO 2009e.
- 141 FAO 2009e.
- 142 Delgado *et al.* 2003.
- 143 FAO 2009e.
- 144 Arkema, Abramson, et Dewsbury 2006.
- 145 Smith, Gilmour, et Heyward 2008.
- 146 Gordon 2007.
- 147 Armada, White, et Christie 2009.
- 148 Pitcher *et al.* 2009.
- 149 OCDE 2008 ; Banque mondiale 2008d.
- 150 FAO 2009e.
- 151 Banque mondiale 2008d.
- 152 Costello, Gaines, et Lynham 2008 ; Hardin 1968 ; Hilborn 2007a ; Hilborn 2007b.
- 153 FAO 2009c. Les poissons et les fruits de mer comprennent les poissons et les invertébrés de mer et d'eau douce. Les protéines animales totales comprennent toutes ces catégories, plus toutes les viandes d'animaux terrestres, le lait et les autres produits animaux. Les données se rapportent à l'année 2003.
- 154 Organisation des Nations Unies 2009.
- 155 FAO 2009c (données 2003).
- 156 FAO 2009e.
- 157 FAO 2009e.
- 158 Banque mondiale 2006.
- 159 De Silva et Soto 2009.
- 160 De Silva et Soto 2009.
- 161 FAO 2004a.
- 162 Gyllenhammar et Hakanson 2005.
- 163 Deutsch *et al.* 2007.
- 164 Gatlin *et al.* 2007.
- 165 Tacon, Hasan, et Subasinghe 2006.
- 166 Tacon, Hasan, et Subasinghe 2006.
- 167 Naylor *et al.* 2000.
- 168 Primavera 1997.
- 169 Tal *et al.* 2009.
- 170 Naylor *et al.* 2000.
- 171 FAO 2001 ; Lightfoot 1990.
- 172 Delgado *et al.* 2003.
- 173 FAO 2009b.
- 174 Par exemple, la Chine et le Népal ne sont pas parties à un accord conclu entre le Bangladesh et l'Inde sur l'eau du bassin du Gange et ne reçoivent aucune allocation.
- 175 Salman 2007.
- 176 Qaddumi 2008.
- 177 Kurien 2005.
- 178 FAO 2009e.
- 179 Duda et Sherman 2002.
- 180 FAO 2009d ; Sundby et Nakken 2008.
- 181 Lodge 2007.
- 182 Programme BCLME 2007.
- 183 FEM 2009.
- 184 Banque mondiale 2009.
- 185 Fischer *et al.* 2005.
- 186 Rosegrant, Fernandez, et Sinha 2009.
- 187 Easterling *et al.* 2007.
- 188 FAO 2008.
- 189 Mitchell 2008. Ce n'est pas la première fois que des chocs climatiques entraînent l'imposition de restrictions aux exportations de produits alimentaires et des hausses de prix importantes ; voir les exemples donnés par Battisti et Naylor 2009.
- 190 Banque mondiale 2009.
- 191 Banque mondiale 2009.
- 192 von Braun *et al.* 2008.
- 193 Bouet et Laborde 2008.
- 194 D'autres problèmes doivent être examinés au cas par cas, par exemple les exonérations des réductions de droits de douane sur des produits spéciaux, comme le souhaitent les pays en développement pour les produits considérés comme importants pour la sécurité alimentaire, le maintien des moyens de subsistance et le développement rural. Banque mondiale 2007c.
- 195 OMM 2000.
- 196 Xiaofeng 2007.
- 197 Organisation des Nations Unies 2004.
- 198 « Africa's Weather Stations Need 'Major Effort,' » Réseau Science et Développement. www.SciDev.net, 7 novembre 2006.
- 199 OMM 2007.
- 200 Barnston *et al.* 2005 ; Mason 2008.
- 201 Moron *et al.*, à paraître ; Moron, Robertson, et Boer 2009 ; Moron, Robertson, et Ward 2006 ; Moron, Robertson, et Ward 2007.
- 202 Sivakumar et Hansen 2007.
- 203 Patt, Suarez, et Gwata 2005.
- 204 Bastiaanssen 1998 ; Menenti 2000.
- 205 WaterWatch, www.waterwatch.nl (consulté le 9 mai 2009).
- 206 Bastiaansen, W., WaterWatch, communication personnelle, mai 2009.
- 207 <http://www.globalsoilmap.net/> (consulté le 15 mai 2009).
- 208 Bindlish, Crow, et Jackson 2009 ; Frappart *et al.* 2006 ; Turner *et al.* 2003.
- 209 Bouma, van der Woerd, et Kulik 2009.
- 210 UNESCO 2007.
- 211 Banque mondiale 2008d.
- 212 Kumar 2004.
- 213 Banque mondiale 2007a.
- 214 Banque mondiale, à paraître b.
- 215 Banque mondiale 2008b.
- 216 Banque mondiale 2008b.
- 217 Mitchell 2008.
- 218 Zilberman *et al.* 2008.
- 219 Rosegrant, Fernandez, et Sinha 2009.
- 220 Parry *et al.* 1999 ; Parry, Rosenzweig, et Livermore 2005 ; Rosenzweig *et al.* 2001.
- 221 Rosenzweig *et al.* 2001.
- 222 Parry *et al.* 2004.

- 223 Fischer *et al.* 2005 ; Parry *et al.* 1999 ; Parry *et al.* 2004 ; Parry 2007 ; Parry, Rosenzweig, et Livermore 2005 ; Schmidhuber et Tubiello 2007.
- 224 Dawe 2008 ; Robles et Torero, à paraître ; Simler 2009.
- 225 McKinsey & Company 2009.
- 226 Perez *et al.* 2007.
- 227 Smith *et al.* 2009.
- 228 L'aide publique au développement versée à l'Afrique entre 1996 et 2004 a été de l'ordre de 1,3 milliard de dollars par an. Banque mondiale 2007c.
- 229 Perez *et al.* 2007.
- 230 McKinsey & Company 2009.
- 231 Les résultats produits par ces activités sur le plan du piégeage seraient régulièrement mis à jour grâce à l'application des méthodes de mesure et de modélisation les plus récentes.
- 232 West et Post 2008.
- 233 Rochette *et al.* 2008.
- 234 Johnston *et al.* 2004.
- 235 Sullivan *et al.* 2004.
- 236 Dans le Conservation Reserve Program, toutefois, les propriétaires fonciers soumettent une offre en vue d'obtenir un paiement, que les autorités gouvernementales acceptent ou rejettent, ce qui est tout à fait différent d'un marché d'échanges de droits d'émissions de carbone.
- 237 McKinsey & Company 2009.
- 238 Tschakert 2004.
- 239 Alston *et al.* 2000.
- 240 Chicago Climate Exchange, <http://www.chicagoclimatex.com/index.jsf> (consulté le 10 février 2009).
- 241 Lal 2005.
- 242 PNUE 1990.
- 243 Swift et Shepherd 2007.
- 244 FAO 2009a.
- 245 OCDE 2008.
- 246 http://ec.europa.eu/agriculture/capreform/infosheets/crocom_en.pdf (consulté le 12 mai 2009).
- Banque mondiale, *Agriculture Investment Sourcebook*, Banque mondiale, Washington DC, 2005.
- , *Aquaculture: Changing the Face of the Waters: Meeting the Promise and Challenge of Sustainable Aquaculture*, Banque mondiale, Washington DC, 2006.
- , « India Groundwater AAA Mid-term Review », (document interne), Banque mondiale, Washington DC, 2007a.
- , *Making the Most of Scarcity: Accountability for Better Water Management Results in the Middle East and North Africa*, Banque mondiale, Washington DC, 2007b.
- , *Rapport sur le développement dans le monde 2008. L'Agriculture au service du développement*, Banque mondiale, Washington DC, 2007c.
- , *Biodiversity, Climate Change and Adaptation: Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio*, Banque mondiale, Washington DC, 2008a.
- , *China Water AAA: Addressing Water Scarcity*, Banque mondiale, Washington DC, 2008b.
- , *Framework Document for a Global Food Crisis Response Program*, Banque mondiale, Washington DC, 2008c.
- , *The Sunken Billions. The Economic Justification for Fisheries Reform*, Banque mondiale et FAO, Washington DC, 2008d.
- , *Rapport sur le développement dans le monde 2009. Repenser la géographie économique*, Banque mondiale, Washington DC, 2008e.
- , *Improving Food Security in Arab Countries*, Banque mondiale, Washington DC, 2009.
- , *Agriculture and Climate Change in Morocco*, Banque mondiale, Washington DC, à paraître a.
- , *Deep Wells and Prudence: Towards Pragmatic Action for Addressing Groundwater Overexploitation in India*, Banque mondiale, Washington DC, à paraître b.
- , *Projet de modernisation de l'agriculture irriguée dans le bassin de l'Oum Er Rbia. Mission d'évaluation aide mémoire*, Banque mondiale, Washington DC, à paraître c.
- , *Water and Climate Change: Understanding the Risks and Making Climate-Smart Investment Decisions*, Banque mondiale, Washington DC, à paraître d.
- Barnett, T. P., J. C. Adam et D. P. Lettenmaier, « Potential Impacts of a Warming Climate on Water Availability in Snow-dominated Regions », *Nature*, 438: 303-09, 2005.
- Barnston, A. G., A. Kumar, L. Goddard et M. P. Hoerling, « Improving Seasonal Prediction Practices through Attribution of Climate Variability », *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86 (1): 59-72, 2005.
- Bastiaanssen, W. G. M., *Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art*, International Water Management Institute, Colombo, 1998.
- Bates, B., Z. W. Kundzewicz, S. Wu et J. Palutikof, « Climate Change and Water », Technical Paper, GIEC, Genève, 2008.
- Battisti, D. S. et R. L. Naylor, « Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat », *Science*, 323 (5911): 240-44, 2009.
- BCLME Programme, « The Changing State of the Benguela Current Large Marine Ecosystem », étude présentée lors de l'Expert Workshop on Climate Change and Variability and Impacts Thereof in the BCLME Region, Kirstenbosch Research Centre, Cape Town, 15 mai 2007.

Bibliographie

- AIE (Agence internationale de l'énergie), *World Energy Outlook 2006*, AIE, Paris, 2006.
- Alcamo, J., N. Dronin, M. Endejan, G. Golubev et A. Kirilenko, « A New Assessment of Climate Change Impacts on Food Production Shortfalls and Water Availability in Russia », *Global Environmental Change*, 17 (3-4): 429-44, 2007.
- Alston, J. M., C. Chan-Kang, M. C. Marra, P. G. Pardey et T. Wyatt, *A Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D: Ex Pede Herculem?*, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2000.
- Arango, H., *Planificación Predial Participativa*, Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Fundación CIPAV, Ingeniero Agrícola, Cali, 2003.
- Arkema, K. K., S. C. Abramson et B. M. Dewsbury, « Marine Ecosystem-Based Management: From Characterization to Implementation », *Ecology and the Environment*, 4 (10): 525-32, 2006.
- Armada, N., A. T. White et P. Christie, « Managing Fisheries Resources in Danajon Bank, Bohol, Philippines: An Ecosystem-Based Approach », *Coastal Management*, 307 (3-4): 308-30, 2009.
- Asad, M., L. G. Azevedo, K. E. Kemper et L. D. Simpson, « Management of Water Resources: Bulk Water Pricing in Brazil », Technical Paper 432, Banque mondiale, Washington DC, 1999.

- Beckett, J. L. et J. W. Oltjen, « Estimation of the Water Requirement for Beef Production in the United States », *Journal of Animal Science*, 7 (4): 818-26, 1993.
- Baintema, N. M. et G.-J. Stads, « Measuring Agricultural Research Investments: A Revised Global Picture », *Agricultural Science and Technology Indicators* (note de référence), International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2008.
- Benbrook, C., « Do GM Crops Mean Less Pesticide Use? », *Pesticide Outlook*, 12 (5): 204-07, 2001.
- BERD (Banque européenne pour la reconstruction et le développement) et FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), « Fighting Food Inflation through Sustainable Investment » BERD et FAO, Londres, 2008.
- Bhatia, R., R. Cestti, M. Scatasta et R. P. S. Malik, *Indirect Economic Impacts of Dams: Case Studies from India, Egypt and Brazil*, Academic Foundation, New Delhi, 2008.
- Bindlish, R., W. T. Crow et T. J. Jackson, « Role of Passive Microwave Remote Sensing in Improving Flood Forecasts », *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 6 (1): 112-16, 2009.
- Blaise, D., G. Majumdar et K. U. Tekale, « On-Farm Evaluation of Fertilizer Application and Conservation Tillage on Productivity of Cotton and Pigeonpea Strip Intercropping on Rainfed Vertisols of Central India », *Soil and Tillage Research*, 84 (1): 108-17, 2005.
- Bosworth, B., G. Cornish, C. Perry et F. Van Steenberg, *Water Charging in Irrigated Agriculture: Lessons from the Literature*, HR Wallingford Ltd, Wallingford, 2002.
- Bouët, A. et D. Laborde, « The Cost of a Non-Doha », note de mission, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2008.
- Bouma, J. A., H. J. Van der Woerd et O. J. Kulik, « Assessing the Value of Information for Water Quality Management in the North Sea », *Journal of Environmental Management*, 90 (2): 1280-88, 2009.
- Burke, E. J. et S. J. Brown, « Evaluating Uncertainties in the Projection of Future Drought », *Journal of Hydrometeorology*, 9 (2): 292-99, 2008.
- Burke, E. J., S. J. Brown et N. Christidis, « Modeling the Recent Evolution of Global Drought and Projections for the 21st Century with the Hadley Centre Climate Model », *Journal of Hydrometeorology*, 7: 1113-25, 2006.
- Butler, R. A., L. P. Koh et J. Ghazoul, « REDD in the Red: Palm Oil Could Undermine Carbon Payment Schemes », *Conservation Letters*, à paraître.
- Carlsson-Kanyama, A. et A. D. Gonzales, « Potential Contributions of Food Consumption Patterns to Climate Change », *American Journal of Clinical Nutrition*, 89 (5): 1704S-09S, 2009.
- Cassman, K. G., « Ecological Intensification of Cereal Production Systems: Yield Potential, Soil Quality, and Precision Agriculture », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96 (11): 5952-59, 1999.
- Cassman, K. G., A. Dobermann, D. T. Walters et H. Yang, « Meeting Cereal Demand While Protecting Natural Resources and Improving Environmental Quality », *Annual Review of Environment and Resources*, 28: 315-58, 2003.
- CEDARE (Centre pour l'environnement et le développement du monde arabe et de l'Europe), *Water Conflicts and Conflict Management Mechanisms in the Middle East and North Africa Region*, CEDARE, Le Caire, 2006.
- Chan, K. M. A. et G. C. Daily, « The Payoff of Conservation Investments in Tropical Countryside », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (49): 19342-47, 2008.
- Chomitz, K. M., « Transferable Development Rights and Forest Protection: An Exploratory Analysis », *International Regional Science Review*, 27 (3): 348-73, 2004.
- Cline, W. R., *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*, Center for Global Development et Peterson Institute for International Economics, Washington DC, 2007.
- CNR (Conseil national de recherches), *Water Implications of Biofuels Production in the United States*, National Academies Press, Washington DC, 2007.
- Commission mondiale des barrages, *Barrages et développement : un nouveau cadre pour la prise de décisions*, Earthscan, Londres et Sterling (Virginie), 2000.
- Costello, C., S. D. Gaines et J. Lynham, « Can Catch Shares Prevent Fisheries Collapse? », *Science*, 321 (5896): 1678-81, 2008.
- Dawe, D., « Have Recent Increases in International Cereal Prices Been Transmitted to Domestic Economies? The Experience in Seven Large Asian Countries », document de travail de l'Agricultural Development Economics Division, 08-03, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2008.
- De Fraiture, C. et C. Perry, « Why Is Agricultural Water Demand Unresponsive at Low Price Ranges? » In *Irrigation Water Pricing: The Gap between Theory and Practice*, sous la direction de F. Molle et de J. Berkoff, CAB International, Oxfordshire, 2007.
- De la Torre, A., P. Fajnzylber et J. Nash, *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change*, Banque mondiale, Washington DC, 2008.
- De Silva, S. et D. Soto, « Climate Change and Aquaculture: Potential Impacts, Adaptation and Mitigation », Technical Paper 530, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2009.
- Delgado, C. L., M. W. Rosegrant, H. Steinfeld, S. Ehui et C. Courbois, « Livestock to 2020: The Next Food Revolution », Food, Agriculture, and Environment Discussion Paper, 28, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 1999.
- Delgado, C. L., N. Wada, M. Rosegrant, S. Meijer et M. Ahmed, *Outlook for Fish to 2020: Meeting Global Demand*, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2003.
- Derpsch, R., « No-Tillage and Conservation Agriculture: A Progress Report », in *No-Till Farming Systems*, sous la direction de T. Goddard, M. A. Zoebisch, Y. T. Gan, W. Elli, A. Watson et S. Sombatpanit, Association mondiale de la conservation du sol et de l'eau, Bangkok, 2007.
- Derpsch, R. et T. Friedrich, « Global Overview of Conservation Agriculture Adoption », in *Lead Papers 4th World Congress on Conservation Agriculture*, World Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, 2009.
- Deutsch, L., S. Graslund, C. Folke, M. Troell, M. Huitric, N. Kautsky et L. Lebel, « Feeding Aquaculture Growth through Globalization: Exploitation of Marine Ecosystems for Fishmeal », *Global Environmental Change*, 17 (2): 238-49, 2007.
- Diaz, R. J. et R. Rosenberg, « Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems », *Science*, 321 (5891): 926-29, 2008.
- Doraiswamy, P., G. McCarty, E. Hunt, R. Yost, M. Doumbia et A. Franzuebbers, « Modeling Soil Carbon Sequestration in Agricultural Lands of Mali », in *Agricultural Systems*, 94 (1): 63-74, 2007.
- Dorward, A., S. Fan, J. Kydd, H. Lofgren, J. Morrison, C. Poulton, N. Rao, L. Smith, H. Tchale, S. Thorat, I. Urey et P. Wobst, « Institutions and Policies for Pro-Poor Agricultural Growth », *Development Policy Review*, 22 (6): 611-22, 2004.

- Duda, A. M. et K. Sherman, « A New Imperative for Improving Management of Large Marine Ecosystems », *Ocean and Coastal Management*, 45: 797-833, 2002.
- Dudley, N. et S. Stolton, *Conversion of « Paper Parks » to Effective Management: Developing a Target*, rapport de l'Union internationale pour la conservation de la nature et le WWF. Projet d'innovations forestières, pour l'Alliance Banque mondiale/WWF, Gland, 1999.
- Dye, P. et D. Versfeld, « Managing the Hydrological Impacts of South African Plantation Forests: An Overview », *Forest Ecology and Management*, 251 (1-2): 121-28, 2007.
- Easterling, W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber et F. Tubiello, « Food, Fibre and Forest Products », in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de M. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Van der Linden et C. E. Hanson, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2007.
- Erenstein, O., « Adoption and Impact of Conservation Agriculture Based Resource Conserving Technologies in South Asia », in *Lead Papers, 4th World Congress on Conservation Agriculture, February 4-7, 2009, New Delhi, India*, WCCA, New Delhi, 2009.
- Erenstein, O., U. Farooq, R. K. Malik et M. Sharif, « On-Farm Impacts of Zero Tillage Wheat in South Asia's Rice-Wheat Systems », *Field Crops Research*, 105 (3): 240-52, 2008.
- Erenstein, O. et V. Laxmi, « Zero Tillage Impacts in India's Rice-Wheat Systems: A Review », in *Soil and Tillage Research*, 100 (1-2): 1-14, 2008.
- Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington DC, 2005.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), « Integrated Agriculture-Aquaculture », Fisheries Technical Paper 407, Rome, 2001.
- , *The State of World Fisheries and Aquaculture 2004*, FAO, Rome, 2004a.
- , « Water Desalination For Agricultural Applications », Land and Water Discussion Paper 5, FAO, Rome, 2004b.
- , *Agricultural Biodiversity in FAO*, FAO, Rome, 2005.
- , *Food Outlook: Global Market Analysis*, FAO, Rome, 2008.
- , « Anchoring Agriculture within a Copenhagen Agreement: A Policy Brief for UNFCCC Parties by FAO », FAO, Rome, 2009a.
- , « Aquastat », FAO, Rome, 2009b.
- , « FAOSTAT », FAO, Rome, 2009c.
- , « Fisheries and Aquaculture in a Changing Climate », FAO, Rome, 2009d.
- , *La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2008*, FAO, Rome, 2009e.
- Fay, M., R. I. Block et J. Ebinger (dir.), *Adapting to Climate Change in Europe and Central Asia*, Banque mondiale, Washington DC, 2010.
- FEM (Fonds pour l'environnement mondial), *From Ridge to Reef: Water, Environment, and Community Security: GEF Action on Transboundary Water Resources*, FEM, Washington DC, 2009.
- Fischer, G., M. Shah, F. Tubiello et H. T. Van Velthuizen, « Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080 », *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360: 2067-83, 2005.
- Fischer, G., M. Shah et H. Van Velthuizen, « Climate Change and Agricultural Vulnerability », étude présentée lors du Sommet mondial sur le développement durable, Johannesburg, 2002.
- Franzluebbers, A. J., « Water Infiltration and Soil Structure Related to Organic Matter and Its Stratification with Depth », *Soil and Tillage Research*, 66: 197-205, 2002.
- Frappart, F., K. D. Minh, J. L'Hermitte, A. Cazenave, G. Ramillien, T. Le Toan et N. Mognard-Campbell, « Water Volume Change in the Lower Mekong from Satellite Altimetry and Imagery Data », *Geophysical Journal International*, 167 (2): 570-84, 2006.
- Gaston, K. J., S. F. Jackson, L. Cantu-Salazar et G. Cruz-Pinon, « The Ecological Performance of Protected Areas », *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39: 93-113, 2008.
- Gatlin, D. M., F. T. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T. G. Gaylord, R. W. Hardy, E. Herman, G. Hu, A. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Sealey, D. Skonberg, E. J. Souza, D. Stone, R. Wilson et E. Wurtele, « Expanding the Utilization of Sustainable Plant Products in Aquafeeds: A Review », *Aquaculture Research*, 38 (6): 551-79, 2007.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, Genève, 2007a.
- , « Summary for Policymakers », in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2007b.
- Gleick, P., *The World's Water 2008-2009: The Biennial Report on Freshwater Resources*, Island Press, Washington DC, 2008.
- Gobierno de España, *La Desalinización en España*, ministère de l'Environnement et du Milieu rural et marin, Madrid, 2009.
- Gordon, I. J., « Linking Land to Ocean: Feedbacks in the Management of Socio-Ecological Systems in the Great Barrier Reef Catchments », *Hydrobiologia*, 591 (1): 25-33, 2007.
- Govaerts, B., K. Sayre et J. Deckers, « Stable High Yields With Zero Tillage and Permanent Bed Planting? », *Field Crops Research*, 94: 33-42, 2005.
- Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K. D. Sayre, J. Dixon et L. Dendooven, « Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality », *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28 (3): 97-122, 2009.
- Groves, D. G., M. Davis, R. Wilkinson et R. Lempert, « Planning for Climate Change in the Inland Empire: Southern California », *Water Resources Impact*, 10 (4): 14-17, 2008.
- Groves, D. G. et R. J. Lempert, « A New Analytic Method for Finding Policy-Relevant Scenarios », *Global Environmental Change*, 17 (1): 73-85, 2007.
- Groves, D. G., D. Yates et C. Tebaldi, « Developing and Applying Uncertain Global Climate Change Projections for Regional Water Management Planning », *Water Resources Research*, 44 (12): 1-16, 2008.
- Gruere, G. P., P. Mehta-Bhatt et D. Sengupta, « Bt Cotton and Farmer Suicides in India: Reviewing the Evidence », Discussion Paper 00808, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2008.
- Gurgel, A. C., J. M. Reilly et S. Paltsev, *Potential Land Use Implications of a Global Biofuels Industry*, Massachusetts Institute of Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge (Massachusetts), 2008.
- Gyllenhammar, A. et L. Hakanson, « Environmental Consequence Analyses of Fish Farm Emissions Related to Different Scales and Exemplified by Data from the Baltic: A Review », *Marine Environmental Research*, 60: 211-43, 2005.

- Hannah, L., G. Midgley, S. Andelman, M. Araujo, G. Hughes, E. Martinez-Meyer, R. Pearson et P. Williams, « Protected Areas Needs in a Changing Climate », *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5 (3): 131-38, 2007.
- Hansen, J., L. Nazarenko, R. Ruedy, M. Sato, J. Willis, A. Del Genio, D. Koch, A. Lacis, K. Lo, S. Menon, T. Novakov, J. Perlwitz, G. Russell, G. A. Schmidt et N. Tausnev, « Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications », *Science*, 308 (5727): 1431-35, 2005.
- Hardin, G., « The Tragedy of the Commons », *Science*, 162 (3859): 1243-48, 1968.
- Hazell, P. B. R., « The Green Revolution: Curse or Blessing? », in *Oxford Encyclopedia of Economic History*, sous la direction de J. Mokyr, Oxford University Press, New York, 2003.
- Henson, I. E., « The Carbon Cost of Palm Oil Production in Malaysia », *The Planter*, 84: 445-64, 2008.
- Hilborn, R., « Defining Success in Fisheries and Conflicts in Objectives », *Marine Policy*, 31 (2): 153-58, 2007a.
- , « Moving to Sustainability by Learning from Successful Fisheries », *Ambio*, 36 (4): 296-303, 2007b.
- Hobbs, P. R., K. Sayre et R. Gupta, « The Role of Conservation Agriculture in Sustainable Agriculture », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 363 (1491): 543-55, 2008.
- Hoekstra, A. Y. et A. K. Chapagain, « Water Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of Their Consumption Pattern », *Water Resources Management*, 21 (1): 35-48, 2007.
- Hofmann, M. et H.-J. Schellnhuber, « Oceanic Acidification Affects Marine Carbon Pump and Triggers Extended Marine Oxygen Holes », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (9): 3017-22, 2009.
- IAASTD (Évaluation internationale des connaissances, des sciences et des technologies agricoles pour le développement), *Résumé à l'intention des décideurs*, IAASTD, Washington DC, 2009.
- James, C., *Global Review of Commercialized Transgenic Crops*, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, 2000.
- , *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007*, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, 2007.
- , *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2008*, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, 2008.
- Johnston, C. A., P. Groffman, D. D. Breshears, Z. G. Cardon, W. Currie, W. Emanuel, J. Gaudinski, R. B. Jackson, K. Lajtha, K. Nadelhoffer, D. Nelson, W. MacPost, G. Retallack et L. Wielopolski, « Carbon Cycling in Soil », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (10): 522-28, 2004.
- Kaonga, M. L. et K. Coleman, « Modeling Soil Organic Carbon Turnover in Improved Fallows in Eastern Zambia Using the RothC-26.3 Model », *Forest Ecology and Management*, 256 (5): 1160-66, 2008.
- Klein, A. M., B. E. Vaissiere, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen et T. Tscharrntke, « Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops », *Proceedings of the Royal Society*, 274 (1608): 303-13, 2007.
- Koh, L. P., P. Levang et J. Ghazoul, « Designer Landscapes for Sustainable Biofuels », *Trends in Ecology and Evolution*, à paraître.
- Koh, L. P. et D. S. Wilcove, « Is Oil Palm Agriculture Really Destroying Tropical Biodiversity? », *Conservation Letters*, 1 (2): 60-64, 2009.
- Kosgei, J. R., G. P. W. Jewitt, V. M. Kongo et S. A. Lorentz, « The Influence Of Tillage on Field Scale Water Fluxes and Maize Yields in Semi-Arid Environments: A Case Study of Potshini Catchment, South Africa », *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 32 (15-18): 1117-26, 2007.
- Kotilainen, L., R. Rajalahti, C. Ragasa et E. Pehu, « Health Enhancing Foods: Opportunities for Strengthening the Sector in Developing Countries », Agriculture and Rural Development Discussion Paper 30, Banque mondiale, Washington DC, 2006.
- Kumar, R., « eChoupals: A Study on the Financial Sustainability of Village Internet Centers in Rural Madhya Pradesh », *Information Technologies and International Development*, 2 (1): 45-73, 2004.
- Kurien, J., « International Fish Trade and Food Security: Issues and Perspectives », étude présentée lors de la 31^e conférence annuelle de l'International Association of Aquatic and Marine Science Libraries, Rome, 2005.
- Laffoley, D. d'A., « Towards Networks of Marine Protected Areas: The MPA Plan of Action for IUCN's World Commission on Protected Areas », Union internationale pour la conservation de la nature, Commission mondiale des aires protégées, Gland, 2008.
- Lal, R., « Enhancing Crop Yields in the Developing Countries through Restoration of the Soil Organic Carbon Pool in Agricultural Lands », *Land Degradation and Development*, 17 (2): 197-209, 2005.
- Lehmann, J., « A Handful of Carbon », *Nature*, 447: 143-44, 2007a.
- , « Bio-Energy in the Black », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5 (7): 381-87, 2007b.
- Lightfoot, C., « Integration of Aquaculture and Agriculture: A Route Towards Sustainable Farming Systems », *Naga: The ICLARM Quarterly*, 13 (1): 9-12, 1990.
- Lin, B. B., I. Perfecto et J. Vandermeer, « Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops », *BioScience*, 58 (9): 847-54, 2008.
- Lobell, D. B., M. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon et R. L. Naylor, « Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030 », *Science*, 319 (5863): 607-10, 2008.
- Lodge, M. W., « Managing International Fisheries: Improving Fisheries Governance by Strengthening Regional Fisheries Management Organizations », Chatham House Energy, Environment and Development Programme Briefing Paper EEDP BP 07/01, Londres, 2007.
- Lotze-Campen, H., A. Popp, J. P. Dietrich et M. Krause, « Competition for Land between Food, Bioenergy and Conservation », note de référence pour le RDM 2010, 2009.
- Louati, Mohamed El Hedi, « Tunisia's Experience in Water Resource Mobilization and Management », note de référence pour le RDM 2010, 2009.
- Mason, S. J., « 'Flowering Walnuts in the Wood' and Other Bases for Seasonal Climate Forecasting », in *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health: Health and Climate*, sous la direction de M. C. Thomson, R. Garcia-Herrera et M. Beniston, Springer Netherlands, Amsterdam, 2008.
- McKinsey & Company, *Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*, McKinsey & Company, Washington DC, 2009.
- McNeely, J. A. et S. J. Scherr, *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Biodiversity*, Island Press, Washington DC, 2003.
- Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver et Z.-C. Zhao, « Global Climate Projections », in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, sous la direction de

- S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2007.
- Menenti, M., « Evaporation », in *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*, sous la direction de G. A. Schultz et E. T. Engman, Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- Milly, P. C. D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier et R. J. Stouffer, « Stationarity Is Dead: Whither Water Management? », *Science*, 319 (5863): 573-74, 2008.
- Milly, P. C. D., K. A. Dunne et A. V. Vecchia, « Global Pattern of Trends in Streamflow and Water Availability in a Changing Climate », *Nature*, 438 (17): 347-50, 2005.
- Mitchell, D., « A Note on Rising Food Prices », Policy Research Working Paper 4682, Banque mondiale, Washington DC, 2008.
- Molden, D., *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, Earthscan et International Water Management Institute, Londres, 2007.
- Molle, F. et J. Berkoff, *Irrigation Water Pricing: The Gap between Theory and Practice*, CAB International, Wallingford, 2007.
- Moller, M., J. Tanny, Y. Li et S. Cohen, « Measuring and Predicting Evapotranspiration in an Insect-Proof Screenhouse », *Agricultural and Forest Meteorology*, 127 (12): 35-51, 2004.
- Moron, V., A. Lucero, F. Hilario, B. Lyon, A. W. Robertson et D. DeWitt, « Spatio-Temporal Variability and Predictability of Summer Monsoon Onset over the Philippines », *Climate Dynamics*, à paraître.
- Moron, V., A. W. Robertson et R. Boer, « Spatial Coherence and Seasonal Predictability of Monsoon Onset over Indonesia », *Journal of Climate*, 22 (3): 840-50, 2009.
- Moron, V., A. W. Robertson et M. N. Ward, « Seasonal Predictability and Spatial Coherence of Rainfall Characteristics in the Tropical Setting of Senegal », *Monthly Weather Review* 134 (11): 3248-62, 2006.
- , « Spatial Coherence of Tropical Rainfall at Regional Scale », *Journal of Climate* 20 (21): 5244-63, 2007.
- Müller, C., A. Bondeau, A. Popp, K. Waha et M. Fader, « Climate Change Impacts on Agricultural Yields », note de référence pour le RDM 2010, 2009.
- Nations Unies, *Guidelines for Reducing Flood Losses*, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, Stratégie internationale de prévention des catastrophes des Nations Unies, et National Oceanic and Atmosphere Administration, Genève, 2004.
- , *World Population Prospects: The 2008 Revision*, Département des affaires économiques et sociales des Nations Unies, New York, 2009.
- Naylor, R. L., R. J. Goldburg, J. H. Primavera, N. Kautsky, M. C. M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, J. Lubchenco, H. Mooney et M. Troell, « Effects of Aquaculture on World Fish Supplies », *Nature*, 405 (6790): 1017-24, 2000.
- Normile, D., « Agricultural Research: Consortium Aims to Supercharge Rice Photosynthesis », *Science*, 313 (5786): 423, 2006.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), *Les Politiques agricoles des pays de l'OCDE : Panorama 2008*, OCDE, Paris, 2008.
- , *Managing Water for All: An OECD Perspective on Pricing and Financing*, OCDE, Paris, 2009.
- Olmstead, S., W. M. Hanemann et R. N. Stavins, « Water Demand under Alternative Price Structures », Working Paper 13573, National Bureau of Economic Research, Cambridge (Massachusetts), 2007.
- OMM (Organisation météorologique mondiale), « Cinquième Plan à long terme 2000-2009. Résumé destiné aux décideurs », OMM, Genève, 2000.
- , *Climate Information for Adaptation and Development Needs*, OMM, Genève, 2007.
- Parry, M., « The Implications of Climate Change for Crop Yields, Global Food Supply and Risk of Hunger », *SAT e-Journal*, 4 (1), Open Access e-Journal, Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT), <http://www.icrisat.org/Journal/SpecialProject/sp14.pdf>, 2007.
- Parry, M., C. Rosenzweig, A. Iglesias, G. Fischer et M. Livermore, « Climate Change and World Food Security: A New Assessment », *Global Environmental Change*, 9 (S1): S51-S67, 1999.
- Parry, M., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore et G. Fischer, « Effects of Climate Change on Global Food Production under SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios », *Global Environmental Change*, 14 (1): 53-67, 2004.
- Parry, M., C. Rosenzweig et M. Livermore, « Climate Change, Global Food Supply and Risk of Hunger », *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360 (1463): 2125-38, 2005.
- Passioura, J., « Increasing Crop Productivity When Water Is Scarce: From Breeding to Field Management », *Agricultural Water Management*, 80 (1-3): 176-96, 2006.
- Patt, A. G., P. Suarez et C. Gwata, « Effects of Seasonal Climate Forecasts and Participatory Workshops among Subsistence Farmers in Zimbabwe », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (35): 12623-28, 2005.
- Peden, D., G. Tadesse et M. Mammo, « Improving the Water Productivity of Livestock: An Opportunity for Poverty Reduction », étude présentée lors de l'Integrated Water and Land Management Research and Capacity Building Priorities for Ethiopia Conference, Addis-Ababa, 2004.
- Pender, J. et O. Mertz, « Soil Fertility Depletion Sub-Saharan Africa: What Is the Role of Organic Agriculture », in *Global Development or Organic Agriculture: Challenges and Prospects*, sous la direction de N. Halberg, H. F. Alroe, M. T. Knudsen et E. S. Kristensen, CAB International, Wallingford, 2006.
- Perez, C., C. Roncoli, C. Neely et J. Steiner, « Can Carbon Sequestration Markets Benefit Low-Income Producers in Semi-Arid Africa? Potentials and Challenges? », *Agricultural Systems*, 94 (1): 2-12, 2007.
- Perry, C., P. Steduto, R. G. Allen et C. M. Burt, « Increasing Productivity in Irrigated Agriculture: Agronomic Constraints and Hydrological Realities », *Agricultural Water Management*, à paraître.
- Phipps, R. et J. Park, « Environmental Benefits of Genetically Modified Crops: Global and European Perspectives on Their Ability to Reduce Pesticide Use », *Journal of Animal and Feed Science*, 11: 1-18, 2002.
- Pimentel, D., B. Berger, D. Filiberto, M. Newton, B. Wolfe, E. Karabinakis, S. Clark, E. Poon, E. Abbett et S. Nandagopal, « Water Resources: Agricultural and Environmental Issues », *BioScience*, 54 (10): 909-18, 2004.
- Pingali, P. L. et M. W. Rosegrant, « Intensive Food Systems in Asia: Can the Degradation Problems Be Reversed? », in *Tradeoffs or Synergies? Agricultural Intensification, Economic Development and the Environment*, sous la direction de D. R. Lee et C. B. Barrett, CAB International, Wallingford, 2001.
- Pitcher, T., D. Kalikoski, K. Short, D. Varkey et G. Pramod, « An Evaluation of Progress in Implementing Ecosystem-Based Management of Fisheries in 33 Countries », *Marine Policy*, 33 (2): 223-32, 2009.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), *Global Assessment of Soil Degradation*, PNUE, New York, 1990.

PNUE-WCMC (World Conservation Monitoring Centre), *State of the World's Protected Areas 2007: An Annual Review of Global Conservation Progress*, PNUE-WCMC, Cambridge (Royaume-Uni), 2008.

Poulton, C., J. Kydd et A. Dorward, « Increasing Fertilizer Use in Africa: What Have We Learned? », Discussion Paper 25, Banque mondiale, Washington DC, 2006.

Primavera, J. H., « Socio-economic Impacts of Shrimp Culture », *Aquaculture Research*, 28: 815-27, 1997.

Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, *Le 3^e Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau : L'eau dans un monde qui change*, UNESCO et Earthscan, Paris et Londres, 2009.

Qaddumi, H., « Practical Approaches to Transboundary Water Benefit Sharing », Working Paper 292, Overseas Development Institute, Londres, 2008.

Randolph, T. F., E. Schelling, D. Grace, C. F. Nicholson, J. L. Leroy, D. C. Cole, M. W. Demment, A. Omoro, J. Zinsstag et M. Ruel, « Invited Review: Role of Livestock in Human Nutrition and Health for Poverty Reduction in Developing Countries », *Journal of Animal Science*, 85 (11): 2788-2800, 2007.

Reardon, T., K. Stamoulis, M. E. Cruz, A. Balisacan, J. Berdugue et K. Savadogo, « Diversification of Household Incomes into Nonfarm Sources: Patterns, Determinants and Effects », étude présentée lors de l'IFPRI/World Bank Conference on Strategies for Stimulating Growth of the Rural Nonfarm Economy in Developing Countries, Airlie House, 1998.

Ricketts, T. H., J. Regetz, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, A. Bogdanski, B. Gemmill-Herren, S. S. Greenleaf, A. M. Klein, M. M. Mayfield, L. A. Morandin, A. Ochieng et B. F. Viana, « Landscape Effects on Crop Pollination Services: Are There General Patterns? », *Ecology Letters*, 11(5):499-515, 2008.

Ritchie, J. E., « Land-Ocean Interactions: Human, Freshwater, Coastal and Ocean Interactions under Changing Environments », étude présentée lors d'un atelier de l'Hydrology Expert Facility, Hydrologic Analysis to Inform Bank Policies and Projects: Bridging the Gap, Washington DC, 24 novembre 2008.

Rivera, J. A., C. Hotz, T. Gonzalez-Cossio, L. Neufeld et A. Garcia-Guerra, « The Effect of Micronutrient Deficiencies on Child Growth: A Review of Results from Community-Based Supplementation Trials », *Journal of Nutrition*, 133 (11): 4010S-20S, 2003.

Robles, M. et M. Torero, « Understanding the Impact of High Food Prices in Latin America », *Economia*, à paraître.

Rochette, P., D. A. Angers, M. H. Chantigny et N. Bertrand, « Nitrous Oxide Emissions Respond Differently to No-Till in a Loam and a Heavy Clay Soil », *Soil Science Society of America Journal* 72: 1363-69, 2008.

Rosegrant, M. W. et H. Binswanger, « Markets in Tradable Water Rights: Potential for Efficiency Gains in Developing Country Water Resource Allocation », *World Development* 22 (11): 1613-25, 1994.

Rosegrant, M. W., X. Cai et S. Cline, *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2002.

Rosegrant, M. W., S. A. Cline et R. A. Valmonte-Santos, « Global Water and Food Security: Emerging Issues », in *Proceedings of the International Conference on Water for Irrigated Agriculture and the Environment: Finding a Flow for All*, sous la direction de A. G. Brown, ATSE Crawford Fund, Canberra, 2007.

Rosegrant, M. W., M. Fernandez et A. Sinha, « Looking into the Future for Agriculture and KST », in *IAASTD Global Report*, sous la direction de B. McIntyre, H. R. Herren, J. Wakhungu et R. T. Watson, Island Press, Washington DC, 2009.

Rosegrant, M. W. et P. B. R. Hazell, *Transforming the Rural Asian Economy: The Unfinished Revolution*, Oxford University Press, New York, 2000.

Rosegrant, M. W., M. Paisner, S. Meijer et J. Witcover, *Global Food Projections to 2020: Emerging Trends and Alternative Futures*, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2001.

Rosenzweig, C., A. Iglesias, X. Yang, P. R. Epstein et E. Chivian, « Climate Change and Extreme Weather Events: Implications for Food Production, Plant Diseases and Pests », *Global Change and Human Health*, 2 (2): 90-104, 2001.

Sabine, C. L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M. Key, K. Lee, J. L. Bullister, R. Wanninkhof, C. S. Wong, D. W. R. Wallace, B. Tilbrook, F. J. Millero, T.-H. Peng, A. Kozyr, T. Ono et A. F. Rios, « The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂ », *Science*, 305: 367-71, 2004.

Salman, S. M. A., « The United Nations Watercourses Convention Ten Years Later: Why Has Its Entry into Force Proven Difficult? », *Water International*, 32 (1): 1-15, 2007.

Scherr, S. J. et J. A. McNeely, « Biodiversity Conservation and Agricultural Sustainability: Towards a New Paradigm of Ecoagriculture Landscapes », *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 477-94, 2008.

Schmidhuber, J. et F. N. Tubiello, « Global Food Security under Climate Change », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (50): 19703-08, 2007.

Schoups, G., J. W. Hopmans, C. A. Young, J. A. Vrugt, W. W. Wallender, K. K. Tanji et S. Panday, « Sustainability of Irrigated Agriculture in the San Joaquin Valley, California », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (43): 15352-56, 2005.

Shiklomanov, I. A., *World Water Resources: An Appraisal for the 21st Century*, Programme hydrologique international de l'UNESCO, Paris, 1999.

Shiklomanov, I. A. et J. C. Rodda, *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2003.

Simler, K. R., « The Impact of Higher Food Prices on Poverty in Uganda », Banque mondiale, Washington DC, 2009.

Singh, U., « Integrated Nitrogen Fertilization for Intensive and Sustainable Agriculture », *Journal of Crop Improvement*, 15 (2): 259-88, 2005.

Sivakumar, M. V. K. et J. Hansen (sous la direction de), *Climate Prediction and Agriculture: Advances and Challenges*, Springer, New York, 2007.

Smith, L. D., J. P. Gilmour et A. J. Heyward, « Resilience of Coral Communities on an Isolated System of Reefs Following Catastrophic Mass-bleaching », *Coral Reefs*, 27 (1): 197-205, 2008.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, R. J. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach et J. U. Smith, « Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture », *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 789-813, 2009.

Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Krull et R. Bol., *Biochar, Climate Change, and Soil: A Review to Guide Future Research*, CSIRO Land and Water Science Report 05/09, Australie, 2009.

Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales et C. De Haan, *L'Ombre portée de l'élevage : impacts environnementaux*

et options pour leur atténuation, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2006.

Struhsaker, T. T., P. J. Struhsaker et K. S. Siex, « Conserving Africa's Rain Forests: Problems in Protected Areas and Possible Solutions », *Biological Conservation*, 123 (1): 45-54, 2005.

Strzepek, K., G. Yohe, R. S. J. Tol et M. W. Rosegrant, « Determining the Insurance Value of the High Aswan Dam for the Egyptian Economy », International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 2004.

Su, Z., J. Zhang, W. Wu, D. Cai, J. Lv, G. Jiang, J. Huang, J. Gao, R. Hartmann et D. Gabriels, « Effects of Conservation Tillage Practices on Winter Wheat Water-Use Efficiency and Crop Yield on The Loess Plateau, China », *Agricultural Water Management*, 87 (3): 307-14, 2007.

Sullivan, P., D. Hellerstein, L. Hansen, R. Johansson, S. Koenig, R. Lubowski, W. McBride, D. McGranahan, M. Roberts, S. Vogel et S. Bucholtz, *The Conservation Reserve Program: Economic Implications for Rural America*, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 2004.

Sundby, S. et O. Nakken, « Spatial Shifts in Spawning Habitats of Arcto-Norwegian Cod Related to Multidecadal Climate Oscillations and Climate Change », *ICES Journal of Marine Sciences*, 65 (6): 953-62, 2008.

Swift, M. J. et K. D. Shepherd (sous la direction de), *Saving Africa's Soils: Science and Technology for Improved Soil Management in Africa*, Centre agroforestier mondial, Nairobi, 2007.

Tacon, A. G. J., M. R. Hasan et R. P. Subasinghe, « Use of Fishery Resources as Feed Inputs for Aquaculture Development: Trends and Policy », FAO Fisheries Circular 1018, Rome, 2006.

Tal, Y., H. Schreier, K. R. Sowers, J. D. Stubblefield, A. R. Place et Y. Zohar, « Environmentally Sustainable Land-Based Marine Aquaculture », *Aquaculture*, 286 (1-2): 28-35, 2009.

Thierfelder, C., E. Amezquita et K. Stahr, « Effects of Intensifying Organic Manuring and Tillage Practices on Penetration Resistance and Infiltration Rate », *Soil and Tillage Research*, 82 (2): 211-26, 2005.

Thornton, P., « The Inter-Linkage between Rapid Growth in Livestock Production, Climate Change, and the Impacts on Water Resources, Land Use, and Reforestation », étude de référence pour le RDM 2010, 2009.

Tilman, D., J. Hill et C. Lehman, « Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass », *Science*, 314: 1598-1600, 2006.

Tschakert, P., « The Costs of Soil Carbon Sequestration: An Economic Analysis for Small-Scale Farming Systems in Senegal », *Agricultural Systems*, 81: 227-53, 2004.

Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling et M. Steininger, « Remote Sensing for Biodiversity Science and Conservation », *Trends in Ecology and Evolution*, 18 (6): 306-14, 2003.

UNESCO, « A Global Perspective On Research And Development », Institute for Statistics Fact Sheet 5, UNESCO, Montréal, 2007.

Van Buskirk, J. et Y. Willi, « Enhancement of Farmland Biodiversity within Set-Aside Land », *Conservation Biology*, 18 (4): 987-94, 2004.

Van der Werf, G. R., J. Dempewolf, S. N. Trigg, J. T. Randerson, P. S. Kasibhatla, L. Giglio, D. Murdiyarsa, W. Peters, D. C. Morton, G. J. Collatz, A. J. Dolman et R. S. DeFries, « Climate Regulation of Fire Emissions and Deforestation in Equatorial Asia », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (51): 20350-55, 2008.

Vassolo, S. et P. Döll, « Global-Scale Gridded Estimates of Thermoelectric Power and Manufacturing Water Use », *Water Resources Research*, 41: W04010–doi:10.1029/2004WR003360, 2005.

Venter, O., E. Meijaard, H. Possingham, R. Dennis, D. Sheil, S. Wich, L. Hovani et K. Wilson, « Carbon Payments as a Safeguard for Threatened Tropical Mammals », *Conservation Letters*, 2: 123-29, 2009.

Von Braun, J., A. Ahmed, K. Asenso-Okyere, S. Fan, A. Gulati, J. Hoddinott, R. Pandya-Lorch, M. W. Rosegrant, M. Ruel, M. Torero, T. Van Rheenen et K. von Grebmer, « High Food Prices: The What, Who, and How of Proposed Policy Actions », résumé d'orientation, International Food Policy Research Institute, Washington DC, 2008.

Ward, F. A. et M. Pulido-Velazquez, « Water Conservation in Irrigation Can Increase Water Use », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (47):18215-20, 2008.

Wardle, D. A., M.-C. Nilsson et O. Zackrisson, « Fire-derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus », *Science*, 320 (5876): 629-29, 2008.

West, P. O. et W. M. Post, « Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis », *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1930-46, 2002.

Williams, A. G., E. Audsley et D. L. Sandars, *Determining the Environmental Burdens and Resource Use in the Production of Agricultural and Horticultural Commodities*, Department for Environmental Food and Rural Affairs, Londres, 2006.

Wise, M. A., K. V. Calvin, A. M. Thomson, L. E. Clarke, B. Bond-Lamberty, R. D. Sands, S. J. Smith, A. C. Janetos et J. A. Edmonds, « Implications of Limiting CO₂ Concentrations for Land Use and Energy », *Science*, 324 (5931): 1183-86, 2009.

Woelcke, J. et T. Tennigkeit, « Harvesting Agricultural Carbon in Kenya », *Rural 21*, 43 (1): 26-27, 2009.

Wolf, D., « Biochar as a Soil Amendment: A Review of the Environmental Implications », Swansea University School of the Environment and Society, http://www.orgprints.org/13268/01/Biochar_as_a_soil_amendment_-_a_review.pdf (consulté le 15 juillet 2009), 2008.

Xiaofeng, X., *Report on Surveying and Evaluating Benefits of China's Meteorological Service*, Administration météorologique chinoise, Pékin, 2007.

Yan, X., H. Akiyama, K. Yagi et H. Akimoto, « Global Estimations of the Inventory and Mitigation Potential of Methane Emissions from Rice Cultivation Conducted Using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines », *Global Biogeochemical Cycles*, 23: 1-15, 2009.

Young, M. et J. McColl, « Defining Tradable Water Entitlements and Allocations: A Robust System », *Canadian Water Resources Journal*, 30 (1): 65-72, 2005.

———, « A Robust Framework for the Allocation of Water in an Ever Changing World », in H. Bjornlund (sous la direction de), *Incentives and Instruments for Sustainable Irrigation*, WIT Press, Southampton, à paraître.

Zhang, G. S., K. Y. Chan, A. Oates, D. P. Heenan et G. B. Huang, « Relationship between Soil Structure and Runoff/Soil Loss After 24 Years of Conservation Tillage », *Soil and Tillage Research*, 92: 122-28, 2007.

Zilberman, D., T. Sproul, D. Rajagopal, S. Sexton et P. Hellegers, « Rising Energy Prices and the Economics of Water in Agriculture », *Water Policy*, 10: 11-21, 2008.

Ziska, L. H., « Three-year Field Evaluation of Early and Late 20th Century Spring Wheat Cultivars to Projected Increases in Atmospheric Carbon Dioxide », *Field Crop Research*, 108 (1): 54-59, 2008.

Ziska, L. H. et A. McClung, « Differential Response of Cultivated and Weedy (Red) Rice to Recent and Projected Increases in Atmospheric Carbon Dioxide », *Agronomy Journal*, 100 (5): 1259-63, 2008.



Stimuler le développement sans nuire au climat

L'économie mondiale devant quadrupler d'ici au milieu du siècle, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) liées à la production d'énergie devraient, au rythme actuel, plus que doubler. Le monde serait alors placé sur une trajectoire potentiellement désastreuse qui pourrait aboutir à une augmentation de 5 °C des températures par rapport à l'ère préindustrielle. Ce scénario, pourtant, n'est pas inévitable. Si l'on agit de façon concertée au plan mondial en vue de poursuivre des politiques judicieuses et d'utiliser des technologies à faible émission de carbone, il est possible de s'orienter dans une direction plus viable qui limiterait le réchauffement aux alentours de 2 °C. Un tel effort produirait du même coup d'énormes avantages en matière de développement économique

et social grâce aux économies d'énergie, à l'amélioration de la santé publique, au renforcement de la sécurité énergétique et à la création d'emplois.

Pour que ce scénario de gestion énergétique durable puisse se concrétiser, il faut que tous les pays prennent immédiatement des mesures pour accroître fortement leurs rendements énergétiques et réduire sensiblement leur intensité de carbone. Le scénario suppose que les pays accordent une place nettement plus large aux énergies renouvelables, voire à l'énergie nucléaire, au détriment des combustibles fossiles dans la production totale d'énergie et qu'ils encouragent l'utilisation généralisée des technologies de piégeage et de stockage du CO₂. Un tel changement suppose, à son tour, que plusieurs conditions soient remplies : une réduction prononcée du coût de la technologie des énergies renouvelables et une diffusion maximale de celle-ci ; des dispositifs de sécurité permettant de contrôler les déchets nucléaires et la prolifération des armes ; et des avancées décisives dans divers domaines technologiques allant des batteries au piégeage et stockage du CO₂. Il exige aussi des transformations radicales en matière de développement économique et de modes de vie. Même si une seule de ces conditions n'est pas remplie, il pourrait être impossible de limiter le réchauffement aux alentours de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles.

Pour pouvoir maintenir le réchauffement à 2 °C, il faut faire en sorte que les émissions mondiales atteignent un plafond au plus tard en 2020, puis diminuent de

Idée force

Pour apporter une réponse au problème du changement climatique, il faudra que tous les pays prennent des mesures immédiates et que des transformations fondamentales soient apportées aux systèmes énergétiques – pour permettre un accroissement important des rendements énergétiques, pour accorder une place considérablement accrue aux énergies renouvelables et peut-être même à l'énergie nucléaire, et encourager l'utilisation généralisée des technologies de pointe pour piéger et stocker le carbone émis dans l'atmosphère. Les pays développés devront prendre les devants et réduire leurs propres émissions à hauteur de 80 % à l'horizon 2050, commercialiser de nouvelles technologies et contribuer au financement des mesures nécessaires pour placer les pays en développement sur des trajectoires fondées sur des énergies propres. Il est également dans l'intérêt des pays en développement d'agir sans tarder pour éviter que leurs économies ne se retrouvent prisonnières d'infrastructures à forte intensité de carbone. Un grand nombre de changements, tels que l'élimination de signaux par les prix sources de distorsions et l'accroissement des rendements énergétiques, présentent des avantages aussi bien pour le développement que pour l'environnement.

50 à 80 % par rapport aux niveaux actuels entre cette date et 2050, et continuent de baisser jusqu'en 2100 et au-delà. Il sera impossible d'atteindre cet objectif si la mise en œuvre des mesures nécessaires est retardée de dix ans. En raison de l'inertie propre aux équipements énergétiques, les investissements réalisés durant les dix prochaines années détermineront largement le niveau d'émissions jusqu'en 2050 et par la suite. Si l'on tarde à réagir, le monde sera prisonnier d'infrastructures à forte intensité de carbone et devra procéder plus tard à la modification coûteuse ou à la destruction prématurée d'équipements existants.

La crise financière actuelle ne doit pas servir d'excuse aux pouvoirs publics pour retarder la lutte contre le changement climatique. La crise climatique qui se profile à l'horizon risque d'être beaucoup plus préjudiciable à l'économie mondiale. La récession économique peut certes retarder la croissance des émissions de quelques années, mais elle ne changera sans doute pas fondamentalement son évolution à long terme. Pour autant, le ralentissement économique donne aux gouvernements l'occasion d'orienter les mesures de relance vers la production d'énergies propres et efficaces afin d'atteindre le double objectif consistant à stimuler la croissance économique et à atténuer le changement climatique (encadré 4.1).

Les pouvoirs publics peuvent adopter aujourd'hui des politiques intérieures « intelligentes » pour promouvoir l'utilisation de technologies à faible émission de carbone pendant qu'un accord mondial sur le climat est négocié. L'efficacité énergétique est la source de réductions d'émissions la plus importante et la moins coûteuse ; elle se justifie en outre pleinement par son incidence positive sur le développement et les économies d'énergie qu'elle engendrera à l'avenir. Les avantages potentiels sont énormes du point de vue tant de l'offre d'énergie (notamment en ce qui concerne la combustion de charbon, de pétrole et de gaz, ainsi que la production, le transport et la distribution l'électricité) que de la demande (utilisation d'énergie dans les bâtiments, les transports et l'industrie manufacturière). L'ampleur des possibilités inexploitées en matière de rendements énergétique donne toutefois à penser qu'il ne sera pas aisé de les concrétiser. La réalisation d'économies d'énergie substantielles demande une hausse des prix et l'élimination des subventions aux combustibles fossiles, ainsi qu'une stratégie concertée visant à pallier les défaillances du marché et à surmonter les obstacles non commerciaux grâce à une réglementation efficace, des incitations financières, des réformes institutionnelles et des mécanismes de financement.

La deuxième plus importante source de réductions potentielles d'émissions est l'utilisation de combustibles à émissions faibles ou nulles – notamment l'utilisation d'énergies renouvelables – dans la production d'électricité. Bon nombre de ces technologies sont déjà commercialisées, ont des effets bénéfiques sur le développement et peuvent

être déployées à une échelle beaucoup plus grande si l'on met en place les cadres stratégiques appropriés. Leur généralisation passe par la tarification des émissions de carbone et la création d'incitations financières visant à promouvoir les technologies à faible intensité de carbone. Un large recours à ces technologies contribuerait à réduire leur coût et à les rendre plus concurrentielles.

Cependant, ces solutions, gagnantes sur tous les plans puisqu'elles contribuent aussi bien au développement qu'à la lutte contre le changement climatique, ne suffiront pas à elles seules à maintenir le réchauffement à 2 °C. Il est urgent d'utiliser à une grande échelle des technologies de pointe qui n'ont pas encore démontré leur efficacité, telles que le piégeage et le stockage du CO₂. Pour accélérer leur diffusion et leur utilisation, il faudra renforcer considérablement les activités de recherche, de développement et de démonstration, ainsi que les échanges et transferts de technologies.

Il est indispensable de mettre en place un mécanisme de portée globale fondé sur le marché, tel qu'un programme de

ENCADRÉ 4.1 *La crise financière est l'occasion de promouvoir les énergies efficaces et propres*

La crise financière est source de défis et d'opportunités en matière d'énergie propres. La chute des prix des combustibles fossiles décourage les économies d'énergie et rend l'énergie renouvelable moins concurrentielle. La faiblesse de l'environnement macroéconomique et le resserrement du crédit ont entraîné une diminution de la demande et des investissements ; les énergies renouvelables (qui se caractérisent par des coûts d'investissement initiaux élevés et de faibles coûts d'exploitation et de combustibles) sont durement touchées en raison de leur forte intensité en capital. Au dernier trimestre de 2008, les investissements dans les énergies propres avaient chuté de plus de 50 % par rapport à leur niveau record de la fin de 2007^a.

Pour autant, la crise financière ne doit pas servir de prétexte pour retarder la mise en œuvre de mesures dans le domaine du changement climatique, car elle est l'occasion de s'orienter vers une économie à faible intensité de carbone (voir chapitre 1). Tout d'abord, les mesures de relance économique axées sur les investissements en faveur de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et des transports en commun peuvent contribuer à créer des emplois et accroître la capacité productive de l'économie^b. Ensuite, la baisse des prix énergétiques offre une occasion exceptionnelle d'appliquer des programmes visant à éliminer les subventions aux combustibles fossiles dans les pays émergents et d'imposer des taxes sur les combustibles dans les pays avancés de manière politiquement et socialement acceptable.

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, d'après :

a. Forum économique mondial 2009.

b. Bowen *et al.* 2009.

plafonnement et d'échange de carbone (*cap-and-trade*) ou une taxe carbone (voir chapitre 6), pour inciter le secteur privé à déployer des efforts d'investissement et d'innovation soutenus permettant de réduire fortement les émissions au moindre coût. Les pouvoirs publics doivent adopter des démarches coordonnées et intégrées pour promouvoir une activité économique à faible intensité de carbone tout en réduisant autant que possible les risques de perturbations sociales et économiques.

Les pays développés doivent prendre l'initiative et s'engager à réduire fortement les émissions, tarifier le carbone et développer des technologies de pointe. Cette démarche est le meilleur moyen de stimuler le développement des technologies nécessaires et de les diffuser à des prix concurrentiels. Il ne sera cependant pas possible de limiter le réchauffement aux alentours de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles si les pays en développement ne commencent pas, eux aussi, à transformer leurs systèmes énergétiques tout en poursuivant leur processus de croissance. Cette transformation demande d'importants transferts de ressources financières et de technologies à faible intensité de carbone des pays développés vers le monde en développement.

Les méthodes d'atténuation des émissions d'origine énergétique et l'assortiment de politiques et de technologies nécessaires à leur mise en œuvre varient parmi les pays à revenu élevé, intermédiaire ou faible, selon leurs structures économiques, les ressources dont ils disposent et leurs capacités institutionnelles et techniques. Une douzaine de pays à revenu élevé ou intermédiaire produisent les deux tiers des émissions mondiales liées à l'énergie : la réduction des émissions de ces pays est essentielle pour prévenir un dérèglement dangereux du climat. Le présent chapitre analyse les scénarios d'atténuation et les défis auxquels sont confrontés certains de ces pays. Il décrit aussi un ensemble d'instruments d'intervention et de technologies propres qu'il est possible d'utiliser pour suivre la trajectoire à 2 °C.

Maintenir un juste équilibre entre des objectifs concurrents

Les politiques énergétiques doivent rechercher un juste équilibre entre quatre objectifs concurrents : soutenir la croissance économique, accroître l'accès des populations pauvres à l'énergie, renforcer la sécurité énergétique et améliorer l'environnement, autant d'objectifs difficiles à atteindre. La combustion de matières fossiles est à l'origine d'environ 70 % des émissions de gaz à effet de serre¹ et constitue la principale source de pollution atmosphérique nocive au plan local. De nombreuses solutions avantageuses sur tous les plans peuvent permettre d'atténuer le changement climatique et de réduire la pollution atmosphérique locale grâce à un moindre recours à la combustion de matières fossiles (encadré 4.2). D'autres options exigent des compromis. Par exemple, les sulfates émis durant la combustion du charbon

sont nocifs à la santé humaine et produisent des pluies acides, mais ils ont aussi des effets refroidissants au plan local qui atténuent le réchauffement.

Les pays en développement ont besoin d'énergie fiable à un coût abordable pour assurer leur croissance et fournir des services à 1,6 milliard de personnes qui n'ont pas accès à l'électricité et aux 2,6 milliards d'êtres humains qui ne disposent pas de combustibles propres pour la cuisson des aliments. L'amélioration de l'accès des populations à ces combustibles et aux services d'électricité dans de nombreux pays en développement à faible revenu, notamment en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne, augmenterait de moins de 2 % les émissions mondiales de CO₂². Le remplacement des combustibles issus de la biomasse, utilisés traditionnellement pour la cuisson des aliments et le chauffage, par des sources d'énergie moderne peut aussi atténuer les émissions de carbone noir – cause importante de réchauffement climatique³ –, améliorer la santé des femmes et des enfants exposés à des niveaux élevés de pollution de l'air intérieur par les combustibles traditionnels issus de la biomasse et ralentir la déforestation et la dégradation des sols (voir chapitre 7, encadré 7.10)⁴.

L'approvisionnement en énergie pose aussi des problèmes d'adaptation. La hausse des températures aura probablement pour effet d'accroître la demande de refroidissement et de réduire la demande de chauffage⁵. L'augmentation de la demande de refroidissement met à rude épreuve les réseaux d'électricité, comme ce fut le cas en Europe durant la vague de chaleur de 2007. Les phénomènes climatiques extrêmes ont été à l'origine de 13 % de la variation de la productivité énergétique dans les pays en développement en 2005⁶. Des régimes de précipitation peu sûrs et changeants nuisent à la fiabilité de l'énergie hydroélectrique. Les sécheresses et les vagues de chaleur, qui influent sur la disponibilité et la température de l'eau, gênent la production d'énergie thermique et nucléaire⁷, car les centrales ont besoin de grandes quantités d'eau pour refroidir leurs installations – le problème s'est posé en France lors des coupures d'électricité survenues durant la canicule de 2007.

Le défi consiste donc à fournir des services énergétiques fiables et abordables à l'appui de la croissance et de la prospérité économiques sans pour autant nuire au climat. Les pays à faible revenu ne sont actuellement à l'origine que de 3 % de la demande énergétique mondiale et des émissions liées à la production d'énergie. S'il est vrai que leur demande d'énergie augmentera en même temps que leurs revenus, leurs émissions ne devraient encore représenter qu'une petite partie des émissions mondiales en 2050. En revanche, les pays à revenu intermédiaire, dont un grand nombre se trouve dans une phase de croissance économique et accorde une place importante à l'industrie lourde, ont des besoins énergétiques gigantesques. Enfin, les pays développés ont besoin d'énormes quantités d'énergie pour préserver leurs modes de vie actuels.

ENCADRÉ 4.2 Une énergie efficiente et propre peut avoir des effets positifs sur le développement

L'évaluation des avantages annexes de l'énergie propre et de la maîtrise de l'énergie au plan du développement – surcroît d'économies d'énergie, réduction de la pollution atmosphérique locale, renforcement de la sécurité énergétique, création d'emplois dans l'industrie locale et amélioration de la compétitivité grâce à la hausse de la productivité – peut justifier en partie les coûts des mesures d'atténuation et renforcer l'attrait des politiques vertes. Les économies d'énergie pourraient compenser une part appréciable des coûts d'atténuation³. Les mesures nécessaires pour maintenir les concentrations de CO₂ autour de 450 parties par million (ppm), afin de limiter le réchauffement à 2 °C, pourraient réduire de 20 à 35 %, d'ici à 2030, la pollution atmosphérique locale (dioxyde de soufre et oxydes d'azote) par

rapport au scénario du laisser-faire⁴. En 2006, l'industrie des énergies renouvelables a créé (directement ou indirectement) 2,3 millions d'emplois dans le monde et les activités liées à l'efficacité énergétique ont produit huit millions d'emplois aux États-Unis⁵. En Californie, les programmes de maîtrise de l'énergie et d'innovation technologique des 35 dernières années ont accru le produit brut de l'État⁶. De nombreux pays, développés et en développement, se fixent des objectifs et formulent des politiques dans le domaine des énergies propres (voir tableau). Certes, ces initiatives sont souvent déterminées par les effets bénéfiques attendus au plan du développement local, mais elles peuvent aussi contribuer sensiblement à réduire les émissions de CO₂. En Chine, par exemple, l'objectif de réduction de

20 % de l'intensité énergétique fixé par les autorités pour la période 2005-2010 devrait abaisser les émissions annuelles de CO₂ de 1,5 milliard de tonnes d'ici à 2010. Il s'agit de l'objectif de réduction d'émissions le plus ambitieux au monde : il équivaut à cinq fois la diminution de 300 millions de tonnes décidée par l'Union européenne dans le cadre de ses engagements au titre du Protocole de Kyoto et huit fois la cible de réduction d'émissions (175 millions de tonnes) de la Californie⁷.

Sources :

- a. AIE 2008b ; McKinsey & Company 2009a.
- b. AIE 2008c.
- c. EESI 2008.
- d. Roland-Holst 2008.
- e. Lin 2007.

De nombreux pays disposent de programmes ou projets en matière d'énergie et de changement climatique

| Pays | Changement climatique | Énergies renouvelables | Efficacité énergétique | Transport |
|------------------|--|---|--|---|
| Union européenne | Réduction de 20 % des émissions de 1990 à 2020 (30 % si d'autres pays s'engagent à réaliser des réductions importantes) ; réduction de 80 % de 1990 à 2050 | 20 % du bouquet d'énergies primaires à l'horizon 2020 | 20 % d'économies d'énergie par rapport au scénario de référence d'ici à 2020 | 10 % du carburant utilisé dans les transports proviendront des biocarburants à l'horizon 2020 |
| États-Unis | Ramener les émissions à leur niveau de 1990 d'ici à 2020 ; réduction de 80 % de 1990 à 2050 | 25 % de l'électricité à l'horizon 2025 | | Relèvement des normes de consommation de carburant à 35 miles par gallon d'essence d'ici à 2016 |
| Canada | Réduction de 20 % de 2006 à 2020 | | | |
| Australie | Réduction de 15 % de 2000 à 2020 | | | |
| Chine | Plan national sur le changement climatique et Livre blanc sur les politiques et les interventions en matière de changement climatique ; groupe chargé des questions d'économie d'énergie et de réduction des émissions créé et présidé par le premier ministre | 15 % de l'énergie primaire à l'horizon 2020 | Réduction de 20 % de l'intensité énergétique de 2005 à 2010 | Une norme d'économie de carburant de 35 miles par gallon d'essence est déjà en vigueur ; objectif : être le numéro un mondial dans le secteur des véhicules électriques ; construction massive de métros en cours |
| Inde | Plan d'action national sur le changement climatique : les émissions par habitant ne doivent pas dépasser le niveau des pays développés, création d'un groupe consultatif sur le changement climatique présidé par le premier ministre | 23 gigawatts de capacités d'énergie renouvelable à l'horizon 2012 | 10 gigawatts d'économies d'énergie d'ici à 2012 | Politique de transport urbain : augmentation des investissements dans les transports publics |
| Afrique du Sud | Scénario d'atténuation à long terme : les émissions atteignent leur niveau maximum entre 2020 et 2025, stagnent pendant une décennie, puis diminuent en valeur absolue | 4 % du bouquet énergétique à l'horizon 2013 | 12 % d'amélioration des rendements énergétiques d'ici à 2015 | Objectif : être le leader mondial dans le secteur des véhicules électriques ; développement des réseaux express d'autobus |
| Mexique | Réduction de 50 % des émissions de 2002 à 2050 ; stratégie climatique nationale : commission intersecrétariats sur le changement climatique établie à des fins de coordination | 8 % du bouquet énergétique à l'horizon 2012 | Normes de rendement énergétique, cogénération | Augmentation des investissements dans les transports publics |
| Brésil | Plan national sur le changement climatique : réduire la déforestation de 70 % d'ici à 2018 | 10 % du bouquet énergétique à l'horizon 2030 | 103 térawattheures d'économie d'énergie à l'horizon 2030 | Numéro un mondial de la production d'éthanol |

Sources : Gouvernement chinois 2008 ; gouvernement indien 2008 ; gouvernement mexicain 2008 ; commission interministérielle brésilienne sur le changement climatique 2008 ; Pew Center 2008a ; Pew Center 2008b ; Project Catalyst 2009.

L'utilisation d'énergie à faible intensité de carbone peut améliorer sensiblement la sécurité énergétique en réduisant l'instabilité des prix ou les risques d'interruptions dans l'approvisionnement énergétique⁸. L'efficacité énergétique peut faire baisser la demande d'énergie, tandis que l'utilisation d'énergies renouvelables permet de diversifier les types d'énergies utilisées et de réduire l'exposition aux chocs des prix de combustibles⁹.

Cependant, le charbon – l'énergie fossile qui émet le plus de carbone – est disponible en quantités abondantes à proximité de nombreuses régions en rapide expansion et assure un approvisionnement en énergie sûr et peu coûteux. Les récentes fluctuations des prix pétroliers et l'incertitude qui entoure l'approvisionnement en gaz renforcent l'intérêt porté aux nouvelles centrales électriques au charbon dans de nombreux pays (développés et en développement). La réduction de la dépendance vis-à-vis des importations de pétrole et de gaz grâce à la production basée sur la conversion du charbon en carburant liquide ou gazeux augmenterait sensiblement les émissions de CO₂. La consommation mondiale de charbon a progressé plus rapidement que celle de n'importe quel autre combustible depuis 2000, ce qui crée de redoutables conflits entre croissance économique, sécurité énergétique et changement climatique.

Face à de tels défis et à de tels objectifs concurrents, le marché ne peut, à lui seul, fournir une énergie efficiente et propre dans les délais requis et à l'échelle nécessaire pour prévenir un dérèglement dangereux du climat. Il convient d'établir le prix de la pollution. La réalisation des progrès nécessaires en matière de rendements énergétiques passe par la création d'incitations *via* les prix, l'adoption de réglementations et la mise en œuvre de réformes institutionnelles. L'ampleur des investissements nécessaires dans des technologies qui n'ont pas encore fait leurs preuves et les risques

qui leur sont liés exigent un soutien important de la part du secteur public.

Perdre l'habitude de consommer une énergie à forte intensité de carbone

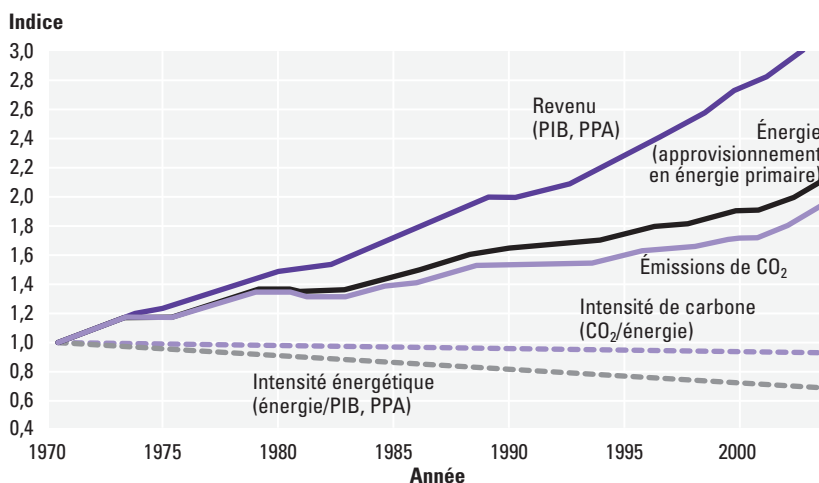
Les émissions de carbone associées aux processus énergétiques sont déterminées par les effets conjugués de la consommation totale d'énergie et de son intensité en carbone (à savoir les unités de CO₂ produites par une unité d'énergie consommée). La consommation d'énergie augmente en même temps que le revenu et la population, mais dans une mesure qui varie beaucoup selon la structure économique (les activités manufacturières et minières consomment davantage d'énergie que l'agriculture et les services), le climat (qui influe sur les besoins de chauffage et de refroidissement) et les politiques publiques (dans les pays où l'énergie est chère et la réglementation exigeante, l'énergie est utilisée de manière plus rationnelle qu'ailleurs). De même, l'intensité en carbone de l'énergie varie selon les politiques et ressources énergétiques nationales (le pays est-il riche en charbon ou dispose-t-il d'une capacité hydroélectrique importante?). Parmi les leviers que peut actionner un pays pour se placer sur une trajectoire de croissance sobre en carbone figurent donc la réduction de l'intensité énergétique (à savoir l'énergie consommée pour un dollar de produit intérieur brut) grâce à l'amélioration des rendements énergétiques et l'adoption de modes de vie à faible consommation d'énergie – et la réduction de l'intensité en carbone de l'énergie grâce à l'utilisation de combustibles à faible teneur en carbone, tels que les énergies renouvelables.

Le doublement de la consommation d'énergie depuis les années 70, conjugué à la quasi-stagnation de l'intensité en carbone, a entraîné un doublement des émissions (graphique 4.1). L'intensité énergétique s'est améliorée, mais

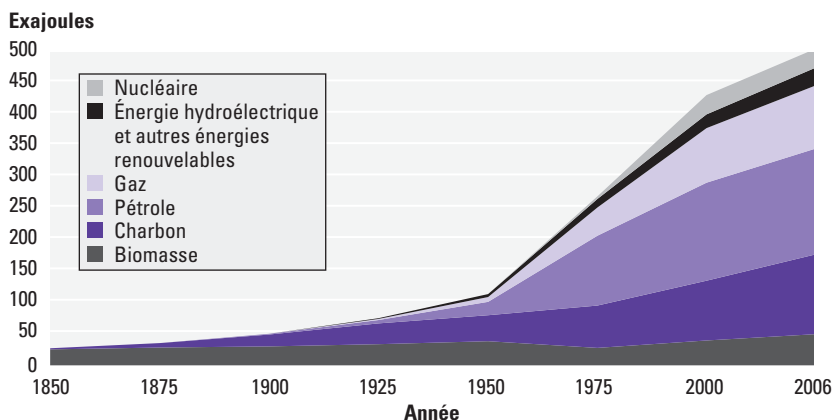
Graphique 4.1 Explication du doublement des émissions : l'amélioration de l'intensité énergétique et de l'intensité de carbone n'a pas suffi à compenser l'accroissement de la demande d'énergie stimulée par la hausse des revenus.

Source : GIEC 2007.

Note : Le PIB est évalué en dollars sur la base de la parité de pouvoir d'achat (PPA).



Graphique 4.2 Sources d'énergie primaire 1850-2006. De 1850 à 1950, la consommation d'énergie a augmenté de 1,5 % par an, principalement grâce au charbon. De 1950 à 2006, elle a progressé de 2,7 % par an, avant tout grâce au pétrole et au gaz naturel.



trop peu pour compenser le triplement du revenu mondial. Par ailleurs, l'intensité en carbone est restée relativement constante, car l'impact des progrès accomplis dans la production d'énergie propre a été en grande partie annulé par l'augmentation massive de l'utilisation des combustibles fossiles. Ceux-ci représentent l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial puisqu'ils constituent plus de 80 % des énergies primaires utilisées (graphique 4.2)¹⁰.

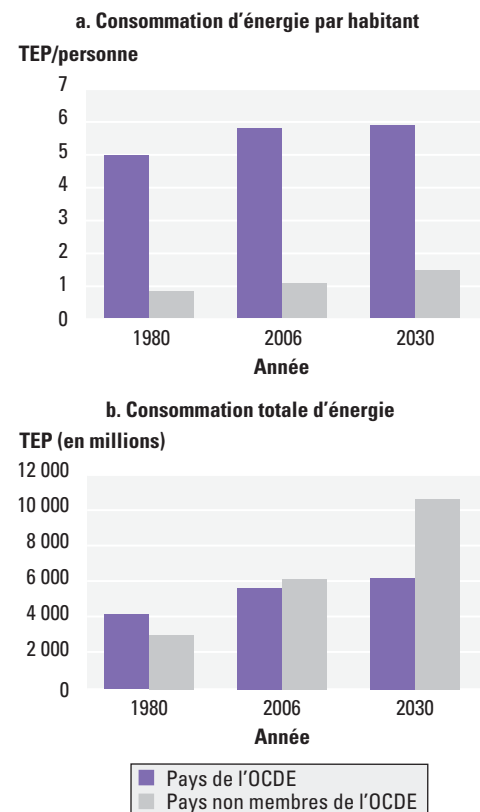
Les pays développés sont à l'origine des deux tiers environ du CO₂ de source énergétique cumulé dans l'atmosphère¹¹. Ils consomment, en outre, cinq fois plus d'énergie par habitant, en moyenne, que les pays en développement. Ces derniers représentent toutefois déjà 52 % des émissions annuelles liées à l'énergie, et leur consommation d'énergie augmente rapidement : 90 % de la hausse prévue de la consommation mondiale d'énergie, de la consommation de charbon et des émissions CO₂ de source énergétique durant les 20 prochaines années proviendront probablement des pays en développement¹². Selon les prévisions, les pays en développement, parce qu'ils abritent une si grande proportion de la population mondiale, utiliseront chaque année 70 % plus d'énergie que les pays développés d'ici à 2030, même si leur consommation d'énergie par habitant doit rester faible (graphique 4.3).

À l'échelle planétaire, la production d'électricité est la principale source d'émissions de gaz à effet de serre (26 %) devant l'industrie (19 %), les transports (13 %) et les bâtiments (8 %)¹³, les changements d'affectation des terres, l'agriculture et les déchets venant compléter le total (graphique 4.4). La situation, toutefois, varie selon les catégories de revenu. Les émissions des pays à revenu élevé proviennent avant tout de la production d'électricité et des transports, alors que les changements d'affectation des terres et l'agriculture sont les principales sources d'émissions dans les pays à faible revenu. Dans les pays à revenu intermédiaire, ce sont la génération d'électricité, l'industrie

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base de Grubler 2008 (données de la période 1850-2000) et AIE 2008c (données de 2006).

Note : Afin d'assurer la cohérence des deux séries de données, on a utilisé la méthode de conversion d'électricité hydraulique en équivalent d'énergie primaire – en posant en hypothèse la quantité d'énergie nécessaire pour produire une quantité égale d'électricité dans des centrales thermiques classiques ayant un rendement moyen de 38,6 %.

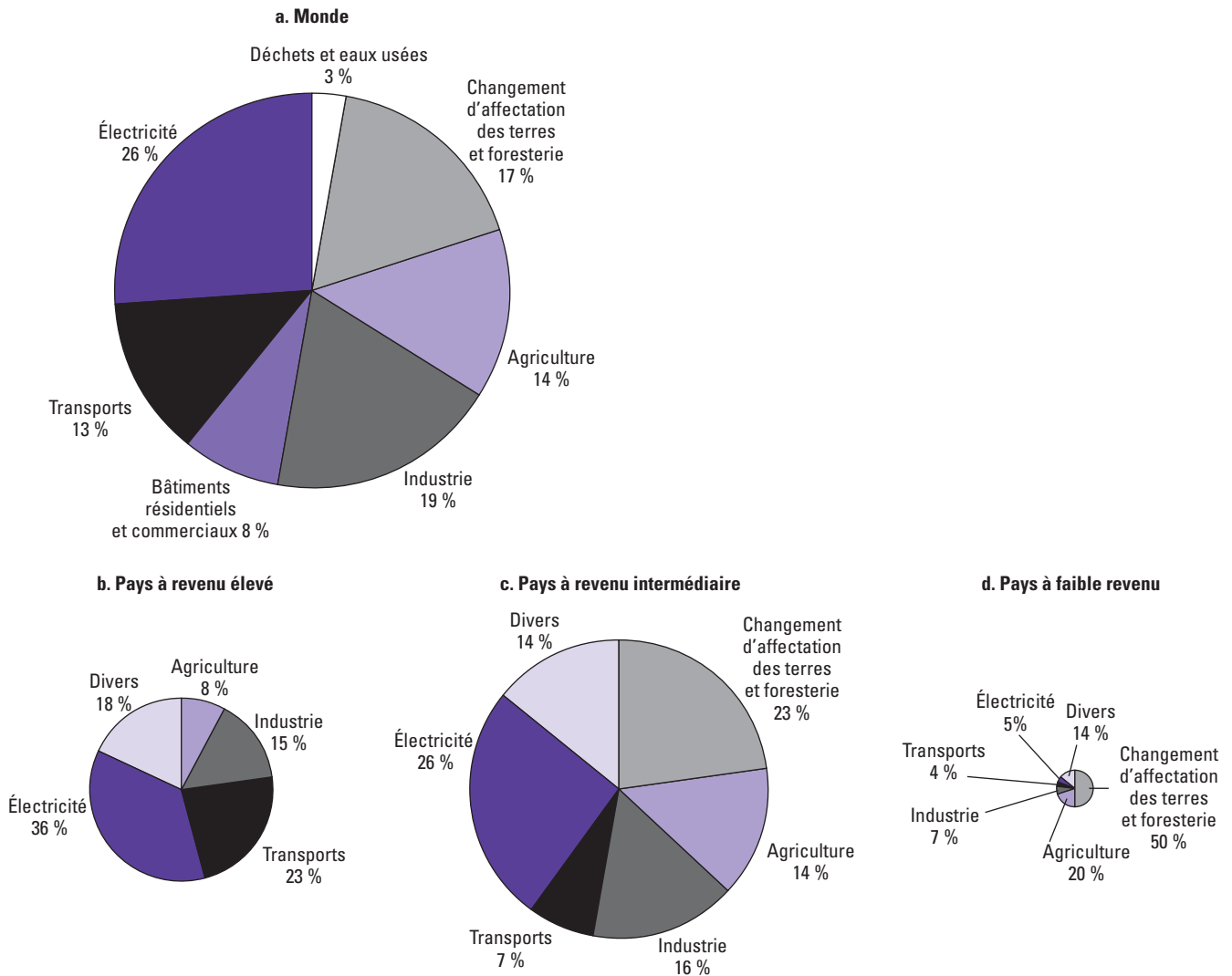
Graphique 4.3 En dépit du faible niveau de leur consommation d'énergie et de leurs émissions par habitant, les pays en développement seront à l'origine d'une grande partie de l'augmentation future de la consommation totale d'énergie et de la hausse des émissions de CO₂



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base des données de IEA 2008c.

Note : TEP = tonnes d'équivalent pétrole.

Graphique 4.4 Émissions de gaz à effet de serre par secteur : monde et pays à revenu élevé, intermédiaire et faible



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, à partir des données de Barker *et al.* 2007 (graphique 4a) et WRI 2008 (graphiques 4b, c et d).

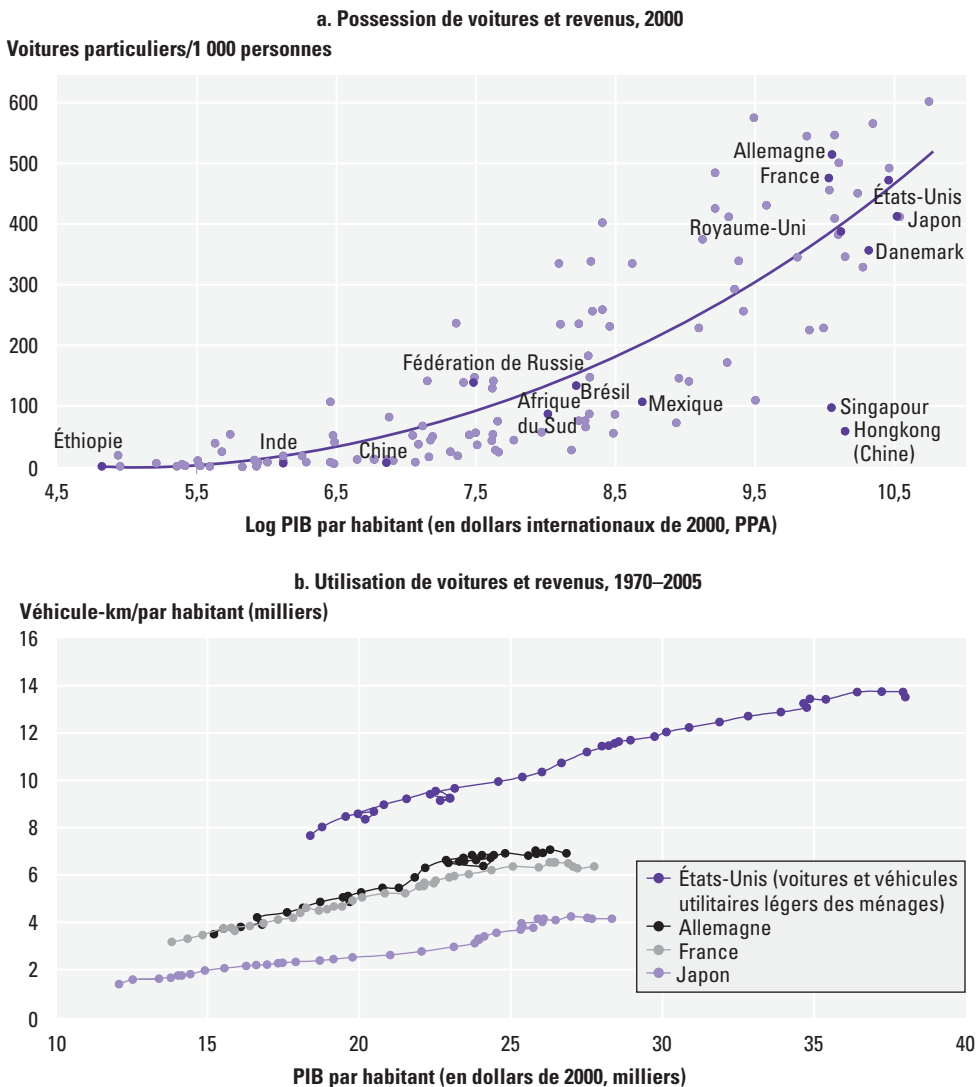
Note : La répartition sectorielle des émissions mondiales décrite au graphique 4.4a est celle de 2004. La répartition sectorielle des émissions dans les pays à revenu élevé, intermédiaire et faible indiquée aux graphiques 4.4b, 4.4c et 4.4d est basée sur les émissions des secteurs énergétique et agricole en 2005 et les émissions provenant de l'affectation des terres et de la foresterie en 2000. La taille de chaque diagramme représente les contributions aux émissions de gaz à effet de serre (y compris les émissions dues aux changements d'affectation des terres) des pays à revenu élevé, intermédiaire et faible ; leurs parts respectives sont de 35, 58 et 7 %. Si l'on considère uniquement les émissions de CO₂ liées à l'énergie, ces parts sont respectivement de 49, 49 et 2 %. Au graphique 4.4a, les émissions provenant de la consommation d'électricité dans les bâtiments sont incluses dans celles du secteur énergétique. Le graphique 4.4b ne comprend pas les émissions dues aux changements d'affectation des terres et à la foresterie, car leur niveau est négligeable dans les pays à revenu élevé.

et les changements d'affectation des sols qui y contribuent le plus ; les émissions dues aux changements d'affectation des terres sont toutefois concentrées dans un petit nombre de pays (le Brésil et l'Indonésie représentent la moitié des émissions mondiales de ce type). Il est probable que la production d'électricité restera la principale source d'émissions, mais celles-ci devraient augmenter plus rapidement dans les transports et l'industrie.

Les villes de la planète, où se concentre une grande partie de la production et de la population, consomment plus des deux tiers de l'énergie mondiale et produisent plus de 70 %

des émissions de CO₂. La croissance urbaine sera spectaculaire durant les 20 prochaines années : la population des villes passera de trois milliards à cinq milliards de personnes, et cette hausse se produira essentiellement dans le monde en développement¹⁴. Il est probable que la taille du parc immobilier doublera entre l'époque actuelle et 2050¹⁵, l'essentiel des nouvelles constructions devant voir le jour dans les pays en développement. Si les villes grandissent en accentuant l'étalement de leurs banlieues plutôt qu'en se densifiant, les transports en commun répondront difficilement à la hausse de la demande de déplacement qui en résultera.

Graphique 4.5 La possession d'automobiles augmente avec les revenus, mais la tarification, les transports publics, l'urbanisme et la densité urbaine peuvent freiner l'utilisation des voitures



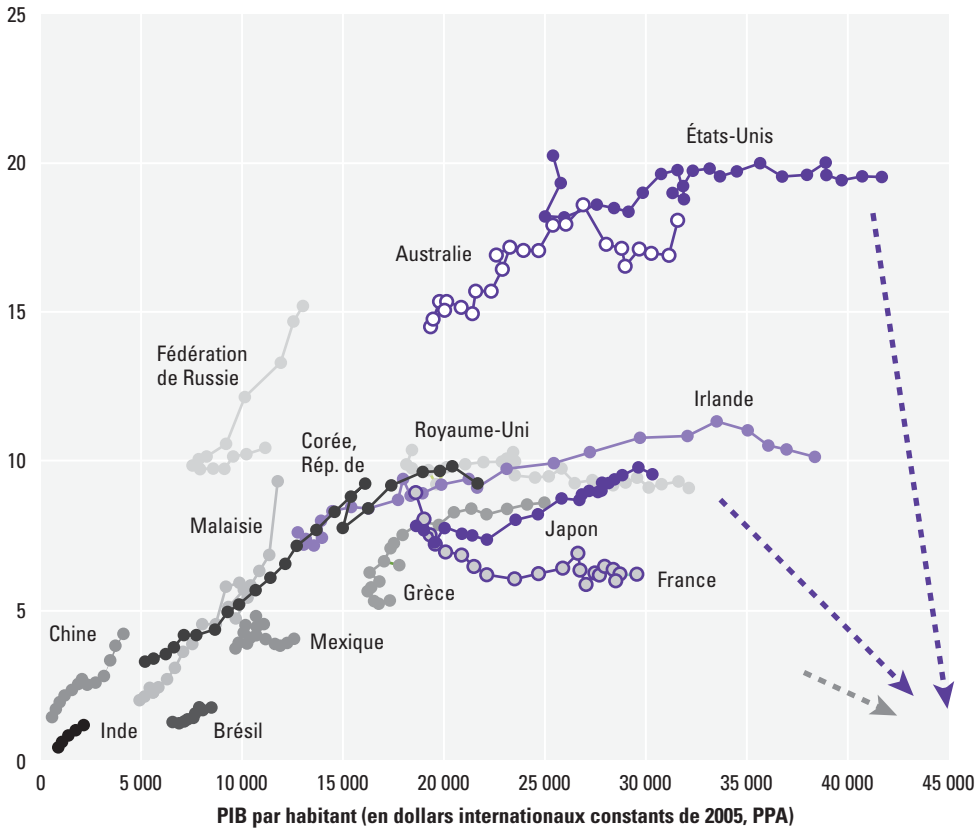
Sources : Schipper 2007 ; Banque mondiale 2009c.

Note : Au graphique 4.5b, les données concernent l'Allemagne de l'Ouest jusqu'à la fin de 1992 et l'ensemble de l'Allemagne unifiée à partir de 1993. On notera que les taux de possession de véhicules sont semblables aux États-Unis, au Japon, en France et en Allemagne (graphique a), mais que les distances parcourues varient beaucoup parmi ces pays (graphique b).

Les taux de possession d'automobiles augmentent rapidement sous l'effet de la hausse des revenus. Au rythme actuel, 2,3 milliards de voitures supplémentaires seront mises en circulation entre 2005 et 2050, dont plus de 80 % dans les pays en développement¹⁶. Si l'on applique des politiques judicieuses, toutefois, l'augmentation des taux de possession ne se traduira pas nécessairement par une hausse similaire de l'utilisation d'automobiles (graphique 4.5)¹⁷. L'utilisation de la voiture ayant pour effet d'accroître la demande d'énergie et les émissions causées par les transports, les politiques de tarification (telles que la tarification routière et les frais de stationnement élevés), les infrastructures de transports publics et la structure des villes peuvent faire une grande différence.

Les pays en développement peuvent s'inspirer de l'expérience de l'Europe et des pays asiatiques développés pour dissocier possession et utilisation d'automobiles. Les

automobilistes européens et japonais font entre 30 % et 60 % de kilomètres de moins par véhicule que les automobilistes américains pour des revenus et des taux de possession d'automobile similaires. À Hong Kong (Chine), le taux de possession est le tiers de celui de New York, la ville américaine présentant le plus faible taux d'automobiles par habitant¹⁸. Comment est-ce possible ? Grâce à une densité urbaine élevée, une forte imposition des carburants, une politique de tarification routière et une infrastructure de transport bien en place. De même, l'Europe possède quatre fois plus de voies de transports publics pour 1 000 personnes que les États-Unis¹⁹. Dans de nombreux pays en développement, cependant, les transports en commun n'ont pas suivi la croissance urbaine, et la multiplication des voitures particulières provoque des problèmes d'encombrement chroniques et croissants.

Graphique 4.6 La direction dans laquelle le monde doit s'orienter : Émissions de CO₂ d'origine énergétique par habitant**Émissions de CO₂ par habitant (tonnes)**

Source : Adapté de NRC 2008, basé sur les données de la Banque mondiale (2008e).

Note : Les données relatives aux émissions et au PIB par habitant portent sur la période 1980-2005.

Les infrastructures de transport influent aussi sur les types de peuplement : les réseaux routiers à forte densité encouragent les peuplements de faible densité et les structures urbaines peu propices aux transports en commun. Les peuplements de faible densité, à leur tour, rendent plus difficile la mise en place de systèmes de chauffage urbain à haut rendement dans les bâtiments²⁰.

La voie à suivre : tendre vers un monde viable sur le plan énergétique

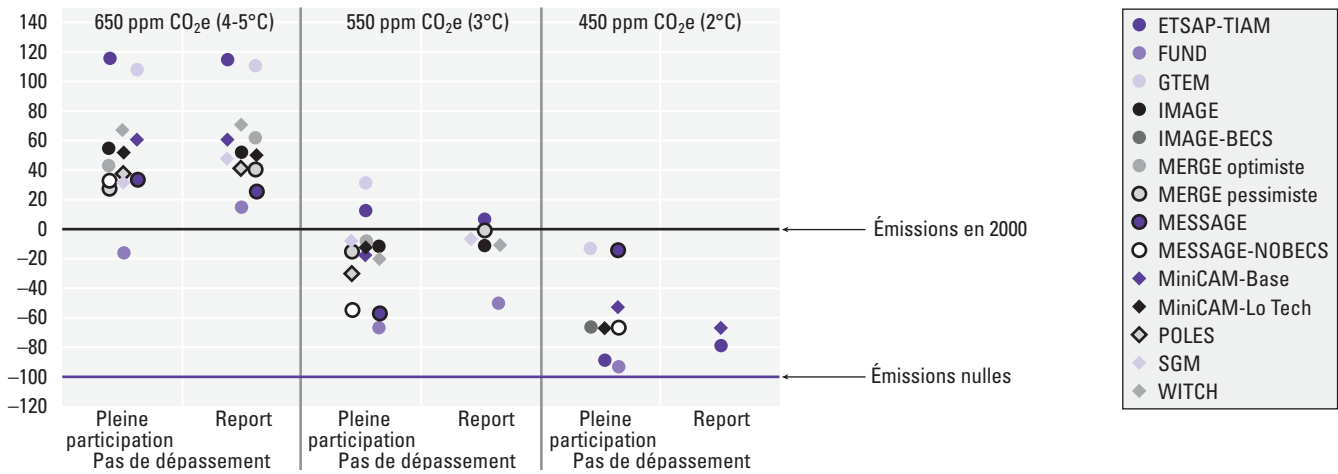
Une croissance et une prospérité viables et équitables demandent que les pays à revenu élevé réduisent sensiblement leurs émissions – y compris leurs émissions par habitant (flèches violettes dans le graphique 4.6). Elles dépendent aussi de la volonté des pays en développement de ne pas emprunter la voie à forte intensité de carbone suivie par des pays développés tels que l'Australie ou les États-Unis, et d'opter plutôt pour une croissance peu polluante (flèche grise). Il faut donc que les pays développés modifient fondamentalement leurs modes de vie et que les pays en développement sautent une étape pour appliquer de nouveaux modèles de développement.

Pour atteindre ces objectifs, il faut concilier ce qu'il importe de faire pour prévenir un dérèglement dangereux

du climat et ce qu'il est techniquement possible de réaliser à un coût acceptable. Limiter le réchauffement à 2 °C au-dessus des températures préindustrielles signifie que les émissions mondiales doivent atteindre leur niveau maximal au plus tard en 2020, puis diminuer de 50 à 80 % d'ici à 2050 par rapport aux niveaux actuels ; il sera peut-être même nécessaire de parvenir à un niveau d'émissions négatif vers 2100²¹. L'objectif est ambitieux : seulement la moitié des modèles énergétiques examinés le considère comme réalisable (graphique 4.7), étant entendu au demeurant, dans la plupart de ces modèles, que tous les pays commencent à prendre des mesures immédiatement. Plus précisément, pour limiter le réchauffement aux alentours de 2 °C, il faudra stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau maximum de 450 parties par million (ppm) d'équivalent CO₂ (CO₂e)²². Or, ces concentrations sont déjà de 387 ppm de CO₂e et augmentent d'environ 2 ppm par an²³. La marge d'augmentation des émissions est donc faible si l'on veut limiter le réchauffement à environ 2 °C. Selon la plupart des modèles, la réalisation de l'objectif de 450 ppm de CO₂e suppose que l'on dépasse cette concentration pendant quelques décennies avant de revenir à 450 ppm de CO₂e vers la fin du siècle (tableau 4.1). Une réduction plus rapide des émissions de gaz à effet de serre de

Graphique 4.7 Seulement la moitié des modèles énergétiques considère qu'il est possible de réduire suffisamment les émissions pour rester proche d'une concentration 450 ppm de CO₂e (2 °C)

Évolution des émissions de CO₂ en 2050 par rapport à 2000 (%)



Source : Clarke *et al.*, à paraître.

Note : Chaque point représente la réduction d'émissions qu'un modèle donné associe à une cible de concentration – 450, 550, 650 parties par million (ppm) d'équivalent CO₂ (CO₂e) – en 2050. Le nombre de points figurant dans chaque colonne indique combien de modèles et de variantes de modèles, sur un total de 14, ont pu définir une trajectoire susceptible de conduire à la concentration indiquée. Le terme « dépassement » correspond à une trajectoire d'atténuation sur laquelle les concentrations peuvent aller au-delà du niveau visé avant de retomber à ce niveau à l'horizon 2100, tandis que l'expression « pas de dépassement » indique que la cible de concentration ne doit être dépassée à aucun moment. L'expression « pleine participation » indique que l'ensemble des pays participe pleinement, de sorte que les mesures de réduction d'émission sont mises en œuvre à l'endroit et au moment où elles sont les plus efficaces. Le terme « report » indique que les pays à revenu élevé commencent à réduire leurs émissions en 2012, le Brésil, la Chine, l'Inde et la Fédération de Russie en 2030 et le reste du monde en 2050.

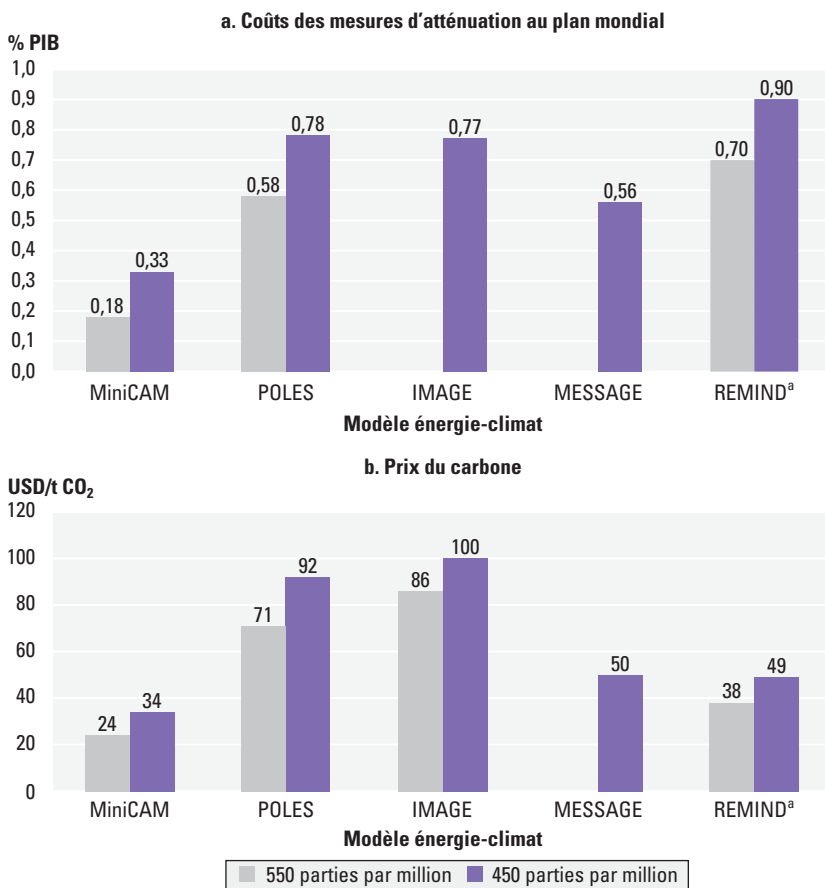
Tableau 4.1 Scénario des mesures à prendre pour atteindre l'objectif d'une concentration de 450 ppm de CO₂e et maintenir le réchauffement aux alentours de 2 °C

| | Pas de dépassement | Dépassement |
|-------------------------|---|--|
| Participation immédiate | <ol style="list-style-type: none"> 1) Participation immédiate de toutes les régions 2) Réduction de 70 % des émissions à l'horizon 2020 3) Transformation substantielle du système énergétique d'ici à 2020, y compris grâce à la construction de 500 nouveaux réacteurs nucléaires et au piégeage de 20 milliards de tonnes de CO₂ 4) Prix du carbone de 100 USD/tCO₂ au plan mondial en 2020 5) Taxe sur les émissions associées à l'utilisation des sols à partir de 2020 | <ol style="list-style-type: none"> 1) Participation immédiate de toutes les régions 2) Construction de 126 nouveaux réacteurs nucléaires et piégeage de près d'un milliard de tonnes de CO₂ à l'horizon 2020 3) Émissions mondiales négatives à la fin du siècle, ce qui nécessite un piégeage et stockage (PSC) à grande échelle des émissions provenant de la biomasse 4) Le prix du carbone s'élève à 775 USD/tCO₂ en 2095 5) Réalisable sans une taxe sur les émissions liées à l'utilisation des sols, mais il en résulterait un triplement des taxes sur le carbone et un renchérissement substantiel de la réalisation de l'objectif |
| Participation retardée | X | <ol style="list-style-type: none"> 1) Réduction très prononcée des émissions des pays non visés à l'Annexe I (pays en développement) au moment de leur participation 2) Émissions négatives dans les pays visés à l'Annexe I (pays à revenu élevé) à l'horizon 2050 et émissions mondiales négatives à la fin du siècle, ce qui exige l'application à grande échelle du PSC aux émissions provenant de la biomasse 3) Le prix du carbone part de 50 USD/tCO₂ et passe à 2 000 USD/tCO₂ 4) Entraîne d'importantes fuites de carbone, car la production agricole est confiée à des régions non participantes, ce qui a pour effet d'accroître sensiblement les émissions dues au changement d'affectation des terres dans ces endroits |

Source : Clarke *et al.*, à paraître.

Note : Il est quasiment impossible de plafonner en permanence les émissions à 450 ppm de CO₂e. Si on les laisse dépasser ce niveau avant 2100, le maintien du réchauffement aux alentours de 2 °C posera quand même de redoutables problèmes, comme le montre la colonne de droite. Les pays visés à l'Annexe I sont les pays de l'OCDE et les pays en transition qui se sont engagés à réduire leurs émissions dans le cadre du Protocole de Kyoto. Les pays non visés à l'Annexe I n'ont pas pris d'engagements à ce titre.

Graphique 4.8 Estimation du coût des mesures d'atténuation au plan mondial et du prix de carbone pour des concentrations de 450 et 550 ppm de CO₂e (2 °C et 3 °C) en 2030 selon cinq modèles



Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base de données provenant de Knopf *et al.*, à paraître ; Rao *et al.* 2008 ; Calvin *et al.*, à paraître.

Note : Ce graphique compare les coûts des mesures d'atténuation et les prix du carbone selon cinq modèles énergie-climat de portée mondiale – MiniCAM, IMAGE, MESSAGE, POLES et REMIND (voir la note 28 pour une description des hypothèses et de la méthodologie des modèles). MiniCAM, POLES, IMAGE et MESSAGE décrivent les coûts de réduction des émissions relatifs à la transformation des systèmes énergétiques par rapport à la base de référence en pourcentage du PIB de 2030, le PIB étant dans ces modèles une variable exogène.

a. Les coûts des mesures d'atténuation selon REMIND sont présentés comme des coûts macroéconomiques exprimés en pertes de PIB en 2030 par rapport à la base de référence, le PIB étant, dans ce modèle, une variable endogène.

courte durée, tels que le méthane et le carbone noir, pourraient limiter le dépassement, mais non pas l'empêcher²⁴. De surcroît, les scénarios de 450 ppm de CO₂e reposent sur le recours au piégeage et stockage du CO₂ provenant de la biomasse²⁵ pour parvenir à des émissions négatives²⁶. Cependant, compte tenu de la concurrence pour les terres et l'eau aux fins de la production alimentaire et du stockage de carbone (voir chapitre 3), la production durable de biomasse posera problème²⁷. Pour limiter le réchauffement à 2 °C, il faudra donc modifier profondément la répartition des sources d'énergie au plan mondial (encadrés 4.3 et 4.4 ; voir la note 28 pour plus d'informations sur les modèles)²⁸.

Le coût des mesures d'atténuation nécessaires à la réalisation de l'objectif de 450 ppm de CO₂e est évalué à 0,3-0,9 % du PIB mondial en 2030, en supposant que ces mesures soient toutes prises au moment et à l'endroit où elles sont les moins coûteuses (graphique 4.8)²⁹. Par comparaison, les dépenses totales du secteur de l'énergie se montent aujourd'hui à 7,5 % du PIB. Le coût de l'inaction – les dégâts que causerait un réchauffement plus prononcé – pourrait en outre fort bien dépasser celui des mesures d'atténuation (voir chapitre 1 pour l'examen du rapport coûts-avantages de la politique climatique).

La réalisation de l'objectif de 450 ppm de CO₂e demande l'utilisation de technologies d'un coût marginal de 35 dollars à 100 dollars la tonne de CO₂ en 2030 correspondant à un investissement annuel mondial de 425 milliards à 1 000 milliards de dollars en 2030 dans les mesures d'atténuation (tableau 4.2)³⁰. Les économies d'énergie qui en découleront devraient couvrir ultérieurement une partie importante de l'investissement initial³¹. Cependant, une grande partie de cet investissement doit être réalisée dans les dix prochaines années dans des pays en développement aux ressources financières limitées. En outre, il sera difficile d'éliminer les obstacles à la réforme et d'orienter les capitaux vers les investissements à faible intensité de carbone à l'endroit et au moment où ils seront nécessaires.

Une solution moins difficile consisterait à adopter une concentration plus élevée comme objectif – par exemple 550 ppm de CO₂e. Ce niveau de concentration correspond à une probabilité de 50 % que le réchauffement dépasse 3 °C et à un risque plus élevé de dégâts sous l'effet du changement climatique, mais il donnerait un peu plus de temps avant que les émissions n'atteignent leur niveau maximal (2030). Les émissions devraient revenir à leur niveau actuel d'ici à

Tableau 4.2 Investissements nécessaires pour limiter le réchauffement à 2 °C (450 ppm de CO₂e) en 2030 (en milliards de dollars constants de 2005)

| Région | AIE | McKinsey | MESSAGE | REMIND |
|-----------------------|-----|----------|---------|--------|
| Monde | 846 | 1013 | 571 | 424 |
| Pays en développement | 565 | 563 | 264 | 384 |
| Amérique du Nord | | 175 | 112 | |
| Union européenne | | 129 | 92 | |
| Chine | | 263 | 49 | |
| Inde | | 75 | 43 | |

Sources : AIE 2008b ; Knopf *et al.*, à paraître, et données supplémentaires communiquées par B. Knopf ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 et données supplémentaires fournies par V. Krey ; McKinsey & Company 2009a et ventilations de données complémentaires communiquées par McKinsey (J. Dinkel).

2050 et continuer de diminuer sensiblement après cette date. Les coûts des mesures d'atténuation correspondant à l'objectif de 550 ppm de CO₂e sont un peu plus faibles que ceux de l'autre scénario – de 0,2 à 0,7 % du PIB mondial en 2030 (graphique 4.8a) – et demandent l'utilisation de technologies d'un coût marginal de 25 dollars à 75 dollars la tonne de CO₂ en 2030 (graphique 4.8b) correspondant à un surcroît d'investissement moyen d'environ 220 milliards de dollars par an au cours des 20 prochaines années³². La réalisation de cet objectif plus modeste nécessiterait quand même la mise en œuvre de réformes majeures.

Agir : immédiatement et dans le monde entier

Si l'on repousse de plus de dix ans la mise en œuvre de mesures au plan mondial, il sera impossible de stabiliser la concentration à 450 ppm de CO₂e³³. La marge de manœuvre est faible en ce qui concerne le moment où les émissions doivent atteindre leur niveau maximal. Pour réaliser l'objectif de 450 ppm de CO₂e, il faut que les émissions

mondiales de CO₂ de source énergétique plafonnent à 28-32 milliards de tonnes en 2020 contre 26 milliards de tonnes en 2005, puis redescendent à 12-15 milliards de tonnes à l'horizon 2050³⁴. Ce scénario suppose une réduction de 2 à 3 % des émissions chaque année à partir de 2020. Si les émissions augmentent pendant dix ans au-delà de cette date, elles devront être réduites de 4 à 5 % par an. Or, les émissions ont augmenté de 3 % par an de 2000 à 2006 : la plupart des pays se dirigent vers une trajectoire à forte intensité de carbone, selon laquelle les émissions mondiales de CO₂ seront supérieures aux projections du scénario le plus pessimiste du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)³⁵.

La construction de centrales électriques, bâtiments, routes et chemins de fer supplémentaires au cours des dix prochaines années aura pour effet de verrouiller certaines technologies et déterminera en grande partie le profil des émissions qui se produiront jusqu'en 2050 et au-delà. Pourquoi ? Parce que les équipements énergétiques ont une longue durée de vie – le renouvellement des centrales électriques peut prendre des décennies, celui des infrastructures urbaines un siècle³⁶. Différer l'action aboutirait à alourdir sensiblement le coût futur des mesures d'atténuation et emprisonnerait le monde dans des infrastructures à forte intensité de carbone pour des dizaines d'années. Il faudra des décennies pour que même les technologies propres et peu onéreuses actuelles pénètrent pleinement le secteur énergétique. Étant donné le temps nécessaire au développement de nouvelles technologies, il faut prendre des mesures énergétiques aujourd'hui même pour déployer des technologies de pointe à une grande échelle à partir de 2030.

Différer l'action obligerait de surcroît à procéder plus tard à de coûteuses modifications d'infrastructures énergétiques ou à leur fermeture anticipée. Il serait beaucoup plus onéreux de construire des installations – centrales électriques ou

ENCADRÉ 4.3 Une concentration de 450 ppm de CO₂e (correspondant à un réchauffement de 2 °C) exigerait une modification fondamentale du système énergétique mondial

L'équipe chargée de rédiger le présent rapport a examiné cinq modèles énergie-climat de portée mondiale qui diffèrent à plusieurs égards : méthodologie, hypothèses relatives à la base de référence, état d'avancement des techniques, taux d'apprentissage, coûts et prise en compte des gaz à effet de serre (en plus du CO₂). La faisabilité du scénario de 450 ppm de CO₂e dépend des caractéristiques de la base de référence. Certains modèles d'évaluation intégrés ne permettent pas d'atteindre une trajectoire de 450 ppm de CO₂e à

partir d'une base de référence caractérisée par une forte intensité de combustibles fossiles et une croissance énergétique élevée. Plusieurs modèles parviennent à atteindre l'objectif de 450 ppm de CO₂e à un coût modéré, en suivant, toutefois, des trajectoires d'émissions et des stratégies de réduction énergétique différentes^a. Les divers scénarios d'émissions impliquent des choix en ce qui concerne la réduction des émissions à court ou moyen terme (2005–2050) et à long terme (2050–2100).

Une modeste diminution des émissions avant 2050 devra être suivie de baisses beaucoup plus marquées à long terme grâce à l'utilisation généralisée du piégeage et stockage du CO₂ provenant de la biomasse^b. Les différences de méthodologies et d'hypothèses des modèles se traduisent aussi par des besoins d'investissement différents à court terme (2030), comme le montre le tableau 4.2. La répartition des sources d'énergie entre l'époque actuelle et 2050 varie aussi beaucoup d'un modèle à l'autre (voir

ENCADRÉ 4.3 Une concentration de 450 ppm de CO₂e (correspondant à un réchauffement de 2 °C) exigerait une modification fondamentale du système énergétique mondial (suite)

graphique sur la page opposée), mais la conclusion reste la même : il est nécessaire de recourir à un ensemble de solutions technologiques qui varieront d'un pays à l'autre et au fil du temps – les stratégies les moins coûteuses reposent toutes sur une vaste gamme de technologies énergétiques.

Le bouquet énergétique mondial selon le scénario de 450 ppm de CO₂e

Pour maintenir les concentrations à 450 ppm de CO₂e, il faudra mener une révolution énergétique à l'échelle mondiale caractérisée par une forte réduction de la demande totale d'énergie et une modification majeure de la répartition des sources d'énergie. Dans cette perspective, il sera nécessaire, selon les modèles climat-énergie, de mettre en œuvre de vigoureuses mesures d'économie d'énergie permettant de réduire de façon spectaculaire la demande mondiale d'énergie pour la faire passer d'environ 900 exajoules d'ici à 2050 selon le scénario du laisser-faire à 650-750 exajoules – soit une diminution de 17 à 28 %.

Selon la plupart des modèles, il faudrait que la part des combustibles fossiles dans l'approvisionnement énergétique passe de 80 % aujourd'hui à 50-60 % d'ici à 2050. L'avenir des combustibles fossiles (notamment le charbon et le gaz) dans un monde où des limites sont imposées aux émissions de carbone dépendra de la généralisation des techniques de piégeage et stockage du CO₂ (PSC), qui devraient être installées dans 80 à 90 % des centrales au charbon d'ici à 2050, en supposant qu'il soit techniquement et économiquement possible d'appliquer le PSC à grande échelle dans les dix ou vingt prochaines années (tableau ci-dessous)^c.

Il faudra compenser la forte réduction de l'usage des combustibles fossiles par le recours aux énergies renouvelables et à l'énergie nucléaire. La plus forte augmentation se situerait dans le domaine de l'énergie renouvelable, dont la part passerait de 13 % aujourd'hui (elle se compose principalement des combustibles traditionnels de la biomasse et de l'énergie hydroélectrique) à environ 30 à 40 % d'ici à 2050, principalement grâce aux énergies modernes de la

Une réduction de 50 % des émissions d'origine énergétique à l'horizon 2050 nécessite une profonde décarbonation du secteur de l'énergie

| Secteur | Estimation du pourcentage de carbone qui doit être éliminé par secteur, 2005-2050 | |
|-----------|---|---------|
| | AIE | MiniCAM |
| Énergie | - 71 | - 87 |
| Bâtiment | - 41 | - 50 |
| Transport | - 30 | + 47 |
| Industrie | - 21 | - 71 |
| Total | - 50 | - 50 |

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base des données de l'AIE (2008b) ; Calvin *et al.*, à paraître.

biomasse (avec ou sans piégeage et stockage du carbone), le reste devant provenir des énergies solaire, éolienne, hydroélectrique et géothermique (voir le graphique). La part du nucléaire devra elle aussi être accrue – de 5 % aujourd'hui à environ 8-15 % d'ici à 2050^d.

L'effort requis est substantiel : il représente la mise en place de 17 000 éoliennes (produisant 4 mégawatts chacune), 215 millions de mètres carrés de panneaux solaires, 80 installations d'énergie solaire concentrée (produisant 250 mégawatts chacune) et 32 centrales nucléaires (produisant 1 000 mégawatts chacune) supplémentaires par an durant les 40 prochaines années par rapport à la base de référence^e. Le secteur de l'électricité devra être pratiquement décarboné, puis ce sera le tour de l'industrie et du bâtiment (tableau ci-dessus).

Sources :

a. Knopf *et al.*, à paraître ; Rao *et al.* 2008.

b. Riahi, Grubler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

c. AIE 2008b ; Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grubler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; van Vuuren *et al.*, à paraître ; Weyant *et al.* 2009.

d. AIE 2008b ; Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grubler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; van Vuuren *et al.*, à paraître.

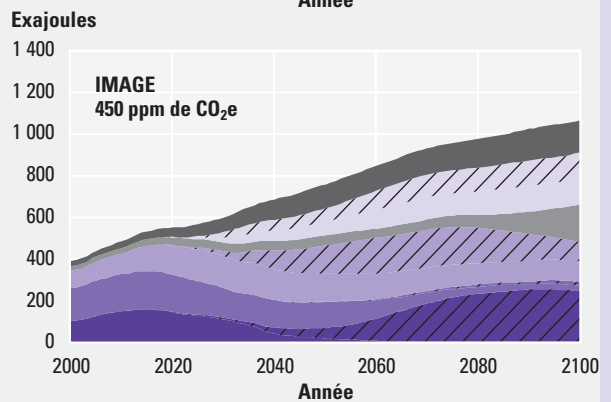
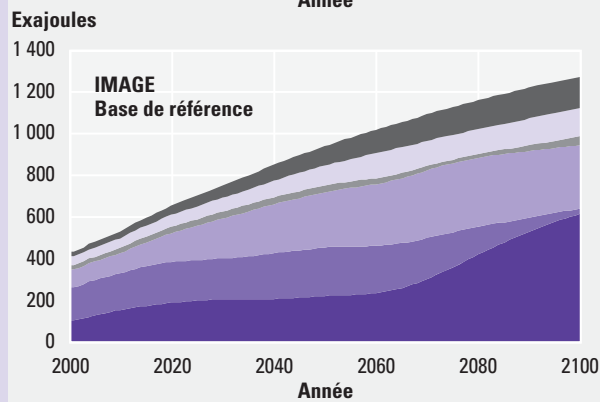
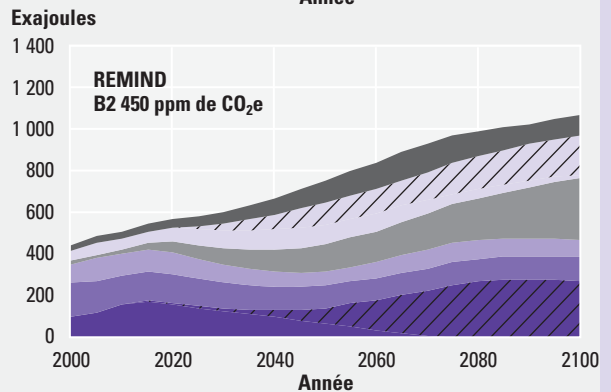
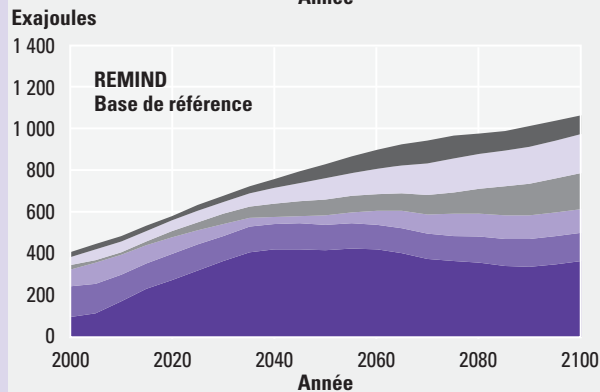
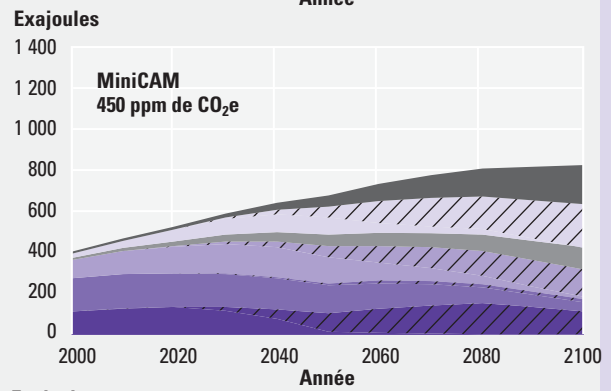
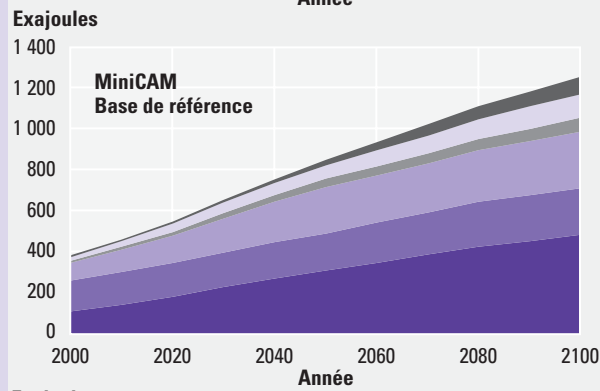
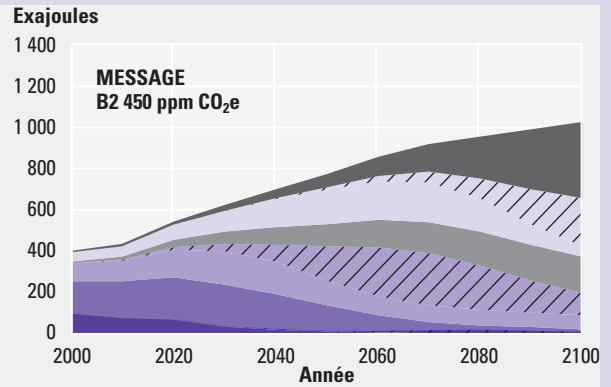
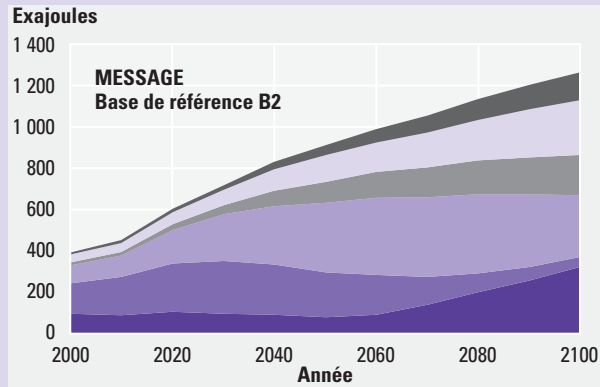
e. AIE 2008b.

Le bouquet énergétique nécessaire pour atteindre l'objectif de 450 ppm de CO₂e peut varier, mais nous devons exploiter toutes les options

| Type d'énergie | Bouquet énergétique actuel | | Bouquet énergétique en 2050 | | | |
|---|----------------------------|---------|-----------------------------|------------------|---------|-------|
| | Monde | Monde | États-Unis | Union européenne | Chine | Inde |
| | % du total | | | | | |
| Charbon sans PSC | 26 | 1-2 | 0-1 | 0-2 | 3-5 | 2-3 |
| Charbon avec PSC | 0 | 1-13 | 1-12 | 2-9 | 0-25 | 3-26 |
| Pétrole | 34 | 16-21 | 20-26 | 11-23 | 18-20 | 18-19 |
| Gaz sans PSC | 21 | 19-21 | 20-21 | 20-22 | 9-13 | 5-9 |
| Gaz avec PSC | 0 | 8-16 | 6-21 | 7-31 | 1-29 | 3-8 |
| Nucléaire | 6 | 8 | 8-10 | 10-11 | 8-12 | 9-11 |
| Biomasse sans PSC | 10 | 12-21 | 10-18 | 10-11 | 9-14 | 16-30 |
| Biomasse avec PSC | 0 | 2-8 | 1-7 | 3-9 | 1-12 | 2-12 |
| Énergies renouvelables autres que la biomasse | 3 | 8-14 | 7-12 | 7-12 | 10-13 | 5-19 |
| Total (exajoules par an) | 493 | 665-775 | 87-121 | 70-80 | 130-139 | 66-68 |

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base des données de Riahi, Grubler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; Calvin *et al.*, à paraître ; AIE 2008b

Une concentration de 450 ppm de CO₂e nécessite une modification fondamentale de la répartition des sources d'énergie primaire au plan mondial



ENCADRÉ 4.4 *Le bouquet énergétique régional selon le scénario de 450 ppm de CO₂e (visant à limiter de réchauffement 2 °C)*

Il est important que les responsables de l'action publique au niveau national comprennent l'incidence du scénario de 450 ppm de CO₂e sur leurs systèmes énergétiques. La plupart des modèles d'évaluation intégrés suivent l'« approche la moins coûteuse », selon laquelle les réductions d'émissions se concrétisent où que ce soit et au moment où elles sont le moins onéreuses dans l'ensemble des secteurs et des pays^a. Toutefois, le pays dans lequel les mesures d'atténuation sont prises n'est pas nécessairement celui qui en assume le coût (voir chapitre 6). Le présent chapitre ne vise pas à préconiser telle ou telle approche en matière de partage de la charge ou de répartition des réductions d'émission parmi les pays : il s'agit là d'une question de négociations. Les États-Unis, l'Union européenne et la Chine produisent maintenant près de 60 % du total des émissions mondiales. L'Inde, à l'heure actuelle, est à l'origine de seulement 4 % des émissions mondiales bien qu'elle abrite 18 % de la population de la planète, mais sa part devrait passer à 12 % d'ici à 2050 si elle ne prend pas de mesures d'atténuation. La participation de ces pays à la réduction des émissions sera donc essentielle à la stabilisation du climat.

États-Unis et Union européenne

Une bonne maîtrise de l'énergie permettrait aux pays développés de réduire leur demande d'énergie de 20 % en 2050 par rapport au scénario du laisser-faire. Un tel effort exigerait une baisse de l'intensité énergétique de 1,5 à 2 % par an au cours des quatre prochaines décennies dans le prolongement de la tendance suivie depuis 20 ans. Pour que l'objectif de 450 ppm de CO₂e soit réalisable, il faudrait que les États-Unis et l'Union européenne abaissent fortement leur consommation de pétrole d'ici à 2050, un pari difficile puisque ces deux régions consomment aujourd'hui près de la moitié de la production mondiale de pétrole. Les États-Unis et l'Union européenne devraient aussi restreindre considérablement leur consommation de charbon – une tâche redoutable pour les États-Unis, deuxième producteur et consommateur de charbon au monde – et généraliser le recours aux techniques de piégeage et stockage du CO₂. Les États-Unis et l'Union européenne disposent des ressources nécessaires pour

prendre ces mesures et surmonter les défis qui se poseront. Les deux régions possèdent d'abondantes sources d'énergie renouvelable. Selon certains modèles, il faudra installer des dispositifs de piégeage et de stockage du CO₂ dans 80 à 90 % des centrales au charbon et au gaz et dans 40 % des centrales alimentées à la biomasse aux États-Unis d'ici à 2050 (voir le tableau du bas de l'encadré 4.3). Au vu des estimations des capacités de stockage du CO₂, cet objectif est réalisable. Cependant, le doublement de la part du gaz naturel dans les sources d'énergie primaire en Europe – de 24 % aujourd'hui à 50 % à l'horizon 2050 –, utilisé comme hypothèse dans certains scénarios de 450 ppm de CO₂e, peut créer un risque d'insécurité énergétique, compte tenu notamment des perturbations subies récemment par l'approvisionnement gazier de l'Europe. Le scénario de 450 ppm de CO₂e suppose des investissements annuels supplémentaires d'un montant de 110 milliards à 175 milliards de dollars pour les États-Unis (0,8-1 % du PIB) et de 90 milliards à 130 milliards de dollars en ce qui concerne l'Union européenne (0,6-0,9 % du PIB) en 2030 (voir tableau 4.2).

Chine

Ramener les émissions nettement en-deçà des niveaux actuels constitue un défi redoutable pour la Chine, premier producteur et consommateur de charbon au monde. Le pays couvre 70 % de ses besoins énergétiques commerciaux à l'aide du charbon (contre 24 % pour les États-Unis et 16 % pour l'Europe). Pour que l'objectif de 450 ppm CO₂e soit atteint, la demande totale d'énergie primaire devrait être inférieure de 20 à 30 % aux niveaux projetés selon le scénario du laisser-faire d'ici à 2050. Il faudrait que l'intensité énergétique diminue de 3,1 % par an au cours des 40 prochaines années. Il est remarquable que le PIB chinois ait quadruplé de 1980 à 2000 alors que la consommation d'énergie du pays a seulement doublé durant cette période. Après 2000, toutefois, la tendance s'est inversée, même si l'intensité énergétique continue de baisser dans les sous-secteurs industriels. Principale raison de ce changement : une forte augmentation de la part de l'industrie lourde, tirée par le dynamisme de la demande intérieure

et extérieure^b. La Chine produit 35 % de l'acier, 50 % du ciment et 28 % de l'aluminium fabriqués dans le monde. Le stade de développement auquel se trouve le pays – là où les industries à forte intensité énergétique dominent l'économie – complique fortement le découplage des émissions et de la croissance.

La Chine a accru le rendement énergétique moyen de ses centrales au charbon de 15 % durant la décennie écoulée pour le porter à 34 % en moyenne. Sa politique, consistant à fermer les centrales de petite taille pour les remplacer par de grandes installations ayant un bon rendement énergétique durant les deux dernières années, a permis de réduire les émissions annuelles de CO₂ de 60 millions de tonnes. La majorité des nouvelles centrales au charbon sont équipées des dernières technologies supercritiques et ultra-supercritiques^c.

En dépit de ces progrès, la Chine devra encore réduire la part du charbon dans son bouquet énergétique primaire pour atteindre l'objectif de 450 ppm de CO₂e (voir le tableau du bas de l'encadré 4.3). Les énergies renouvelables pourraient satisfaire jusqu'à 40 % de la demande totale d'énergie d'ici à 2050. Plusieurs scénarios prévoient des programmes nucléaires extrêmement ambitieux selon lesquels la Chine construirait des centrales nucléaires à un rythme trois fois plus élevé que celui atteint par la France, à tel point qu'en 2050 la capacité nucléaire chinoise serait sept fois supérieure à la capacité nucléaire française actuelle. Compte tenu des réserves de gaz limitées de la Chine, l'augmentation de la part du gaz dans les sources d'énergie primaire prévue par certains modèles, qui la font passer de 2,5 % à l'heure actuelle à 40 % en 2050, paraît problématique.

Étant donné l'ampleur des réserves nationales, le charbon restera probablement une importante source d'énergie en Chine pendant des décennies. La technique du piégeage et stockage du CO₂ (PSC) est essentielle à la croissance économique du pays dans un monde où des limites sont imposées aux émissions de carbone. Selon certains scénarios de 450 ppm de CO₂e, il faudrait installer des dispositifs de PSC dans 85 à 95 % des centrales au charbon chinoises d'ici à 2050 –

ENCADRÉ 4.4 *Le bouquet énergétique régional selon le scénario de 450 ppm de CO₂e (visant à limiter de réchauffement 2 °C) (suite)*

c'est-à-dire davantage que ce qui peut être réalisé selon les projections actuelles des capacités de stockage du CO₂ (3 gigatonnes par an) susceptibles d'être utilisées de façon rentable dans un rayon de 100 km des sources d'émissions. Cependant, la poursuite de l'évaluation des sites, les progrès technologiques et la tarification future du carbone pourraient changer cette situation. Le scénario de 450 ppm de CO₂e exige que la Chine accroisse ses investissements de 15 milliards de dollars par an pour les porter à 300 milliards de dollars (0,1-2,6 % du PIB) d'ici à 2030.

Inde et autres pays en développement

L'Inde est confrontée à d'énormes défis en ce qui concerne la modification de sa trajectoire d'émissions en raison de la faiblesse de son potentiel d'énergies de substitution et de sites de stockage de carbone. Comme la Chine, l'Inde est fortement tributaire du charbon (qui couvre 53 % de sa demande énergétique commerciale). La réalisation de l'objectif de 450 ppm de CO₂e exigerait une véritable révolution énergétique de la part du pays. Il faudrait que la demande totale d'énergie primaire baisse d'environ 15 à 20 % d'ici à 2050 par rapport aux projections établies dans l'hypothèse de politiques inchangées, et l'intensité énergétique devrait diminuer de 2,5 % par an entre aujourd'hui et 2050, ce qui correspondrait à un doublement des efforts déployés durant les dix dernières années. Il existe de multiples possibilités d'améliorer les rendements énergétiques du pays et de réduire les 29 % de pertes enregistrées durant le transport et la distribution pour rapprocher ce pourcentage de la moyenne mondiale (9 %). Les centrales au charbon indiennes ont gagné en efficacité durant les dernières années, mais leur rendement énergétique moyen reste faible (29 %) et la quasi-totalité des centrales au charbon est sous-critique. En Inde, comme en Chine, la réalisation de l'objectif de 450 ppm de CO₂e passe par une très forte diminution de la part du charbon dans les sources d'énergie primaire du pays. Le potentiel hydroélectrique (150 gigawatts) et éolien sur terre (65 gigawatts) est important en termes absolus, mais faible en comparaison des besoins énergétiques futurs (12 % du bouquet énergétique

à l'horizon 2050 selon le scénario de 450 ppm de CO₂e). Il existe des possibilités considérables mais inexploitées d'importer du gaz naturel et de l'énergie hydroélectrique des pays voisins, mais l'établissement d'accords commerciaux transfrontaliers dans le domaine de l'énergie continue de rencontrer des difficultés. Pour que l'énergie solaire puisse jouer un rôle important, il faudrait que son coût diminue sensiblement. Selon certains scénarios, l'Inde devrait recourir à la biomasse pour couvrir 30 % de ses besoins énergétiques primaires d'ici à 2050 dans l'optique du scénario de 450 ppm de CO₂e. Cet objectif, toutefois, pourrait excéder le potentiel d'exploitation durable de biomasse de l'Inde, car la production de la biomasse est en concurrence avec l'agriculture et les forêts pour l'utilisation des terres et des eaux.

L'Inde dispose d'un nombre limité de sites rentables de stockage du CO₂ : sa capacité totale de stockage est inférieure à cinq gigatonnes de CO₂, ce qui permettrait de stocker seulement trois années de production de carbone si 90 % des centrales au charbon étaient équipées de dispositifs de piégeage et de stockage du CO₂ d'ici à 2050, comme le prévoient certains scénarios de 450 ppm de CO₂e. L'évaluation de sites supplémentaires et les progrès technologiques pourraient changer cette situation. Le scénario de 450 ppm de CO₂e implique un investissement annuel supplémentaire de 40 milliards à 75 milliards de dollars de la part de l'Inde (1,2-2,2 % du PIB) en 2030. L'Afrique subsaharienne (sans l'Afrique du Sud) est à l'origine de 1,5 % des émissions mondiales annuelles de CO₂ liées à l'énergie, une proportion qui ne devrait pas aller au-delà de 2 à 3 % d'ici à 2050. La priorité absolue devrait être de fournir aux populations pauvres des services énergétiques modernes de base, un effort qui n'accroîtrait que légèrement les émissions mondiales de gaz à effet de serre. Pour autant, la révolution de l'énergie propre à l'échelle mondiale concerne aussi les pays à faible revenu, qui pourraient sauter une étape et passer directement à la prochaine génération de technologies. L'énergie propre peut fortement contribuer à améliorer l'accès à l'énergie, et la recherche de rendements

énergétiques accrus est une solution à court terme, efficace par rapport à son coût, aux problèmes de coupure d'électricité.

Selon les modèles climat-énergie, dans le cadre des scénarios de 450 ppm de CO₂e, la plupart des pays en développement devraient stimuler leur production d'énergie renouvelable. L'Afrique, l'Amérique latine et l'Asie pourraient contribuer à cet effort en recourant à la biomasse moderne. Par ailleurs, l'Amérique latine et l'Afrique disposent d'un important potentiel hydroélectrique encore inexploité, même si l'imprévisibilité accrue du cycle hydrologique due au changement climatique pourrait modifier son volume. Ces pays devraient aussi stimuler considérablement l'utilisation du gaz naturel.

Sources : Calvin *et al.*, à paraître ; Chikkatur 2008 ; Dahowski *et al.* 2009 ; de la Torre, Fajnzylber et Nash 2008 ; Dooley *et al.* 2006 ; German Advisory Council on Global Change 2008 ; Government of India Planning Commission 2006 ; Holloway *et al.* 2008 ; AIE 2008b ; AIE 2008c ; IIASA 2009 ; Lin *et al.* 2006 ; McKinsey & Company 2009a ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; Wang et Watson 2009 ; Weber *et al.* 2008 ; Banque mondiale 2008c ; Zhang 2008.

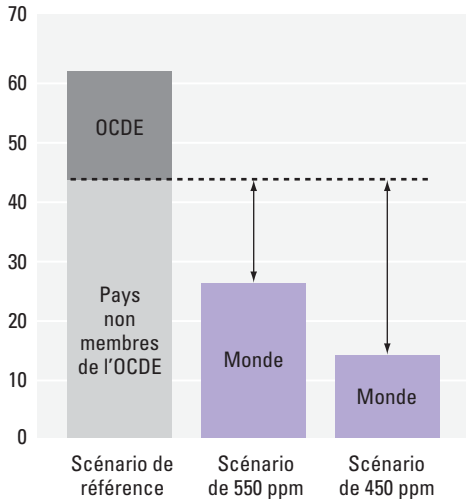
a. Ces modèles sont basés sur un marché mondial intégré du carbone et ne prennent pas explicitement en compte la répartition de la charge entre les pays. En réalité, ces hypothèses ont peu de chances d'être valides. La question du partage de la charge est examinée au chapitre 1 et les conséquences du report de la participation des pays non visés à l'Annexe I sont analysées au chapitre 6. Par ailleurs, nous avons examiné les modèles des pays en développement (Chine et Inde), mais aucune information publique n'est disponible pour les scénarios de 450 ppm de CO₂e.

b. Lin *et al.* 2006. La production de biens d'exportation représentait environ le tiers des émissions chinoises en 2005 (Weber *et al.* 2008).

c. Les centrales supercritiques et ultra-supercritiques fonctionnent à des pressions et des températures de vapeur plus élevées que les autres installations pour atteindre respectivement un rendement de 38 à 40 % et de 40 à 42 %, alors que le rendement moyen des grandes centrales électriques sous-critiques est de 35 à 38 %.

Graphique 4.9 Il est essentiel de prendre des mesures au niveau mondial pour limiter le réchauffement à 2 °C (450 ppm) ou 3 °C (550 ppm). Les pays développés ne peuvent pas, à eux seuls, placer le monde sur une trajectoire de 2 °C ou 3 °C, même s'ils parvenaient à éliminer complètement leurs émissions d'ici à 2050.

Émissions annuelles de CO₂ à l'horizon 2050 (Gt/an)



Sources : Adapté de AIE 2008b ; Calvin *et al.*, à paraître.

Note : Même si les émissions d'origine énergétique des pays développés (gris foncé) tombaient à zéro, les émissions des pays en développement (gris pâle) selon le scénario du laisser-faire dépasseraient les niveaux d'émissions mondiales nécessaires pour concrétiser les scénarios de 550 ppm de CO₂e et de 450 ppm de CO₂e (mauve) à l'horizon 2050.

bâtiments – selon les normes actuelles pour les modifier par la suite que de bâtir d'emblée de nouvelles infrastructures efficaces et à faible intensité de carbone. Cela est vrai aussi pour la fermeture anticipée d'installations énergétiques inefficaces. Les économies d'énergie justifient souvent des dépenses d'investissement initiales élevées, mais elles sont moins susceptibles de couvrir le remplacement prématuré des équipements. Même un prix du CO₂ élevé ne suffirait peut-être pas à changer la donne³⁷.

Si l'on veut éviter le verrouillage de certaines technologies, il faut considérer l'ampleur et le rythme de l'urbanisation, particulièrement dans les pays en développement, comme une occasion unique de prendre aujourd'hui des décisions majeures sur la construction de villes à faible intensité de carbone grâce à un aménagement urbain compact, à des transports publics de qualité, à la construction de bâtiments à haut rendement énergétique et à l'utilisation de véhicules propres.

Un des effets bénéfiques de l'inertie de l'infrastructure énergétique est que l'introduction de technologies efficaces à faible émission de carbone dans de nouvelles infrastructures offre la possibilité de verrouiller un développement à faible intensité de carbone. Au moins la moitié des équipements énergétiques de longue durée qui seront construits d'ici à 2020 le seront dans les pays en développement³⁸. Par exemple, la moitié du parc immobilier que possédera la Chine en 2015 aura été construit entre 2000 et 2015³⁹. Les opportunités sont moins nombreuses dans les pays développés, où les bâtiments d'habitation tendent à se renouveler lentement – par exemple, 60 % des immeubles résidentiels dont devrait disposer la France en 2050 ont déjà été construits. Cette situation rend

Tableau 4.3 La situation particulière des pays demande l'adoption de méthodes sur mesure

| Pays | Technologies et stratégies à faible intensité en carbone |
|-----------------------------|---|
| Pays à faible revenu | <ul style="list-style-type: none"> Accroître l'accès à l'énergie sur le réseau et hors réseau Recourir aux mesures d'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables chaque fois qu'elles sont l'option la moins coûteuse Supprimer les subventions en faveur des combustibles fossiles Adopter une tarification axée sur le recouvrement des coûts Passer directement à la production décentralisée d'électricité lorsque l'infrastructure de réseau fait défaut |
| Pays à revenu intermédiaire | <ul style="list-style-type: none"> Intensifier les efforts axés sur l'efficacité énergétique et exploiter les énergies renouvelables à plus grande échelle Replacer les démarches d'urbanisme et de transport dans une optique à faible intensité de carbone Éliminer les subventions en faveur des combustibles fossiles Adopter une tarification basée sur le recouvrement des coûts en incluant les externalités locales Procéder à des travaux de recherche, de développement et de démonstration dans le domaine des nouvelles technologies |
| Pays à revenu élevé | <ul style="list-style-type: none"> Réduire fortement les émissions dans ces pays Tarifier le carbone : plafonnement et échange de carbone ou taxe carbone Éliminer les subventions en faveur des combustibles fossiles Accroître les travaux de recherche, de développement et de démonstration dans les nouvelles technologies Modifier les modes de vie à forte consommation d'énergie Fournir des financements et des technologies à faible intensité de carbone aux pays en développement |

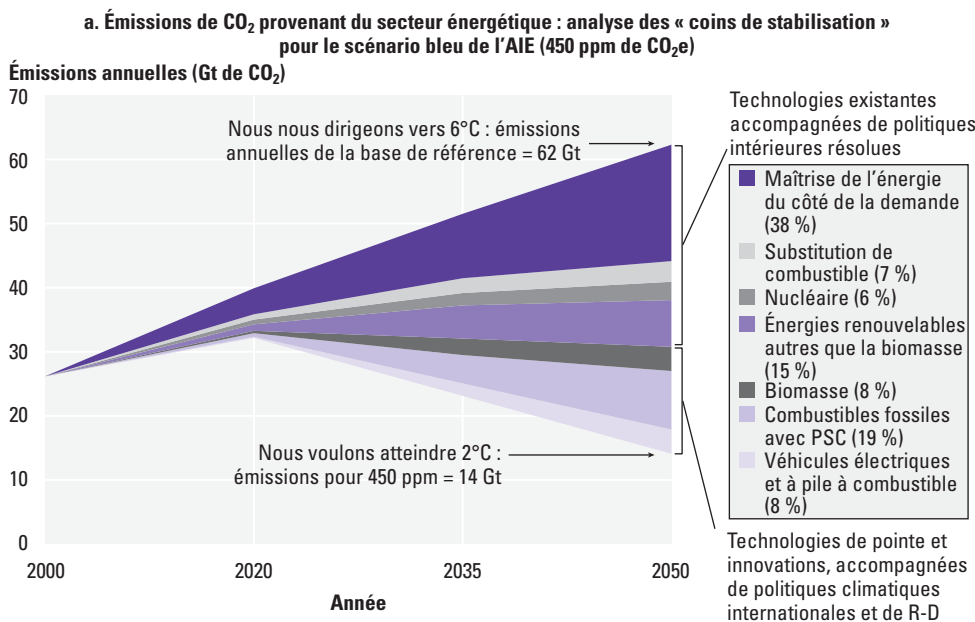
Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

plus difficile la réduction de la demande de chauffage et de climatisation, qui demande la transformation et le remplacement de l'enveloppe des bâtiments. Les pays développés et en développement auront toutefois de nombreuses occasions, durant les dix prochaines années, de construire de nouvelles centrales électriques à l'aide de technologies propres, de manière à éviter de condamner davantage le monde à utiliser des combustibles à forte intensité de carbone.

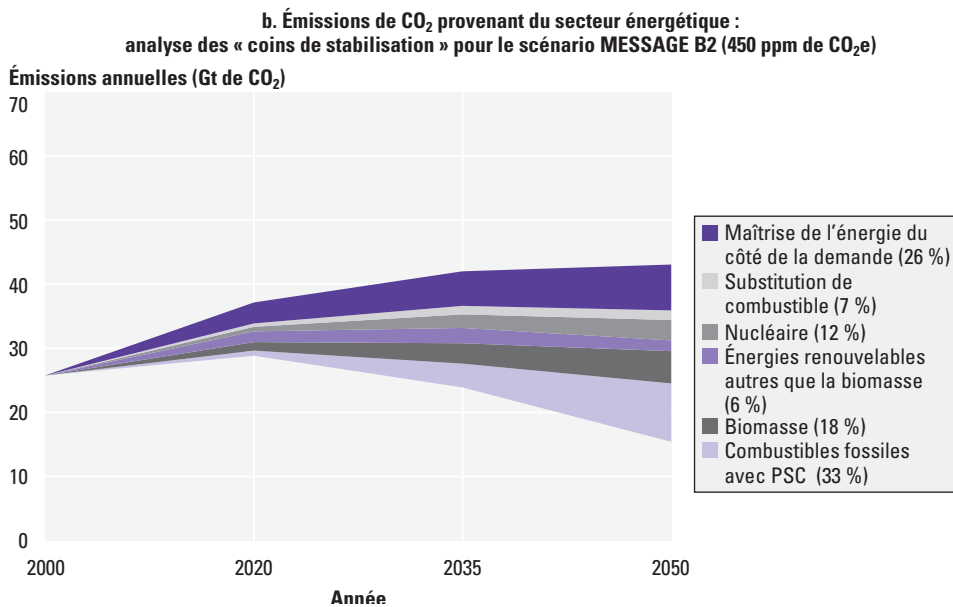
Pour les raisons citées dans le plan d'action de Bali, qui influe sur les négociations en cours au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, les

pays développés doivent prendre l'initiative de la réduction des émissions (voir chapitre 5). Ils ne peuvent pas cependant, à eux seuls, placer le monde sur une trajectoire de réchauffement de 2 °C, même s'ils parvenaient à éliminer complètement leurs émissions (graphique 4.9). D'ici à 2050, sur les neuf milliards d'habitants de la planète, huit milliards vivront dans les pays appartenant aujourd'hui au monde en développement et produiront 70 % des émissions prévues au niveau mondial⁴⁰. Les pays développés peuvent toutefois apporter un appui financier aux pays en développement et effectuer des transferts de technologies à faible intensité de carbone en leur

Graphique 4.10 En matière d'émissions, l'écart entre la trajectoire empruntée aujourd'hui par le monde et celle qu'il devrait suivre est immense, mais un portefeuille de technologies d'énergies propres peut aider l'humanité à respecter l'objectif de 450 ppm de CO₂e (2 °C)



Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base des données de Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; AIE 2008b. Note : La substitution de combustibles consiste à remplacer le charbon par le gaz. Les énergies renouvelables autres que la biomasse sont les énergies solaire, éolienne, hydroélectrique et géothermique. L'expression « combustibles fossiles avec PSC » désigne les combustibles fossiles dont les émissions font l'objet d'opérations de piégeage et de stockage. Le potentiel d'atténuation exact de chaque « coin de stabilisation » peut varier selon les modèles en fonction de la base de référence, mais les conclusions générales restent les mêmes.



faveur tout en développant des technologies de pointe à faible émission de CO₂ et en démontrant qu'une croissance à faible intensité de carbone est possible (tableau 4.3).

Agir sur tous les fronts techniques et stratégiques

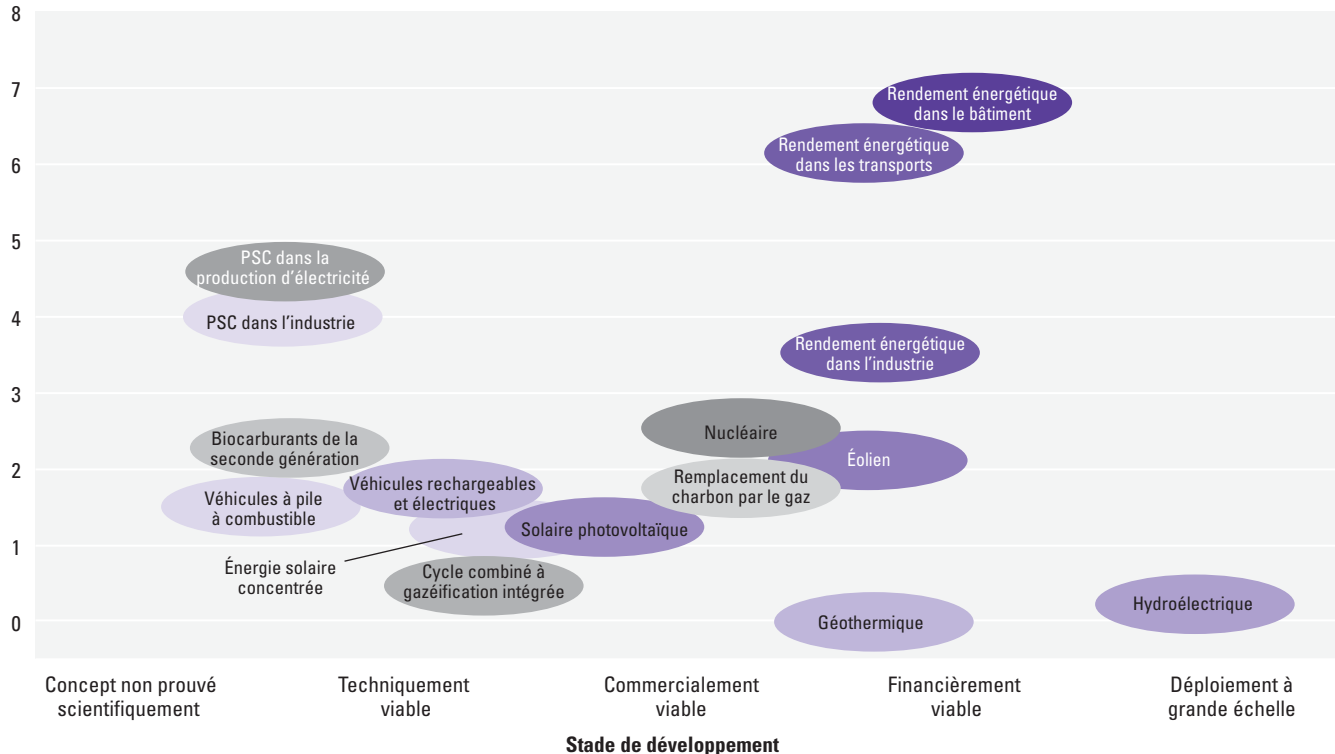
À quels changements fondamentaux faut-il procéder dans le secteur énergétique pour réduire l'écart entre la trajectoire empruntée aujourd'hui par le monde et celle qu'il devrait suivre ? La réponse réside dans un ensemble de technologies énergétiques à la fois efficaces et propres permettant de faire baisser l'intensité énergétique et de privilégier les combustibles à faible émission de carbone. Au rythme actuel, les émissions mondiales de CO₂ d'origine énergétique passeront de 26 gigatonnes en 2005 à 43-62 gigatonnes vers 2050⁴¹. Un scénario de 450 ppm de CO₂e exige toutefois que l'on réduise les émissions d'origine énergétique de 12 à 15 gigatonnes, soit un effort d'atténuation de 28 à 48 gigatonnes d'ici à 2050 (graphique 4.10). Les modèles font intervenir quatre technologies pour combler cet écart : la maîtrise de l'énergie (principal levier), les énergies renouvelables, le piégeage et stockage du CO₂, et l'énergie nucléaire⁴².

Il faudra utiliser cette gamme de technologies pour obtenir au moindre coût la forte réduction d'émissions exigée par le scénario de 450 ppm de CO₂e, car chacune d'entre elles présente des limites physiques et économiques, qui varient d'ailleurs d'un pays à l'autre. La maîtrise de l'énergie se heurte à des obstacles et aux défaillances du marché. Le nombre limité de sites adéquats restreint les possibilités de production d'énergie éolienne, hydroélectrique et géothermique ; la biomasse souffre de la concurrence des secteurs agricoles et forestiers pour les terres et l'eau (chapitre 3) ; l'énergie solaire est coûteuse (encadré 4.5). L'énergie nucléaire suscite des préoccupations liées à la prolifération des armes, à la gestion des déchets et à la sécurité des réacteurs. Quant à l'utilisation des technologies de piégeage et de stockage du CO₂ dans les centrales électriques, elle n'a pas fait ses preuves sur le plan commercial, présente un coût élevé et risque d'être freinée par le manque de sites de stockage dans certains pays.

L'analyse de sensibilité qui prend en compte ces contraintes technologiques laisse à penser qu'il ne sera pas possible d'atteindre l'objectif de 450 ppm de CO₂e sans recourir, sur une large échelle, à l'utilisation d'équipements

Graphique 4.11 L'objectif consiste à faire passer les technologies à faible intensité de carbone du stade du concept non prouvé au déploiement à grande échelle et à un niveau de réduction d'émissions plus élevé

Potentiel de réduction des émissions de CO₂ (Gt/an)



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, sur la base des données de la Banque mondiale (2008a) et de l'AIE (2008a) (potentiel d'atténuation selon le scénario bleu de l'AIE en 2050).

Note : Une définition détaillée des divers stades de développement technologique figure au tableau 4.4. Un groupe technologique donné peut franchir diverses étapes de développement au même moment mais dans des contextes nationaux différents et à des échelles différentes. Le coût de l'énergie éolienne, par exemple, est déjà similaire à celui des centrales au gaz dans la majeure partie des États-Unis (Wiser et Bolinger 2008). En Chine et en Inde, en revanche, l'éolien peut être viable d'un point de vue économique, mais pas d'un point de vue financier par rapport aux centrales au charbon. Autrement dit, pour que les technologies propres soient adoptées dans davantage d'endroits et à une plus grande échelle, elles doivent passer du bas vers le haut du tableau 4.4.

ENCADRÉ 4.5 *Les technologies de l'énergie renouvelable ont un énorme potentiel, mais se heurtent à des contraintes*

Biomasse

De toutes les sources d'énergie renouvelable, c'est la biomasse moderne, utilisée comme combustible pour produire de l'électricité ou de la chaleur et faire fonctionner les transports, qui offre le plus de possibilités en matière d'atténuation^a. Elle provient des résidus de l'agriculture et des forêts, ainsi que des cultures énergétiques. S'agissant de l'utilisation des résidus, le plus grand défi consiste à assurer l'approvisionnement des centrales de façon fiable et durable et à un coût raisonnable ; les principaux problèmes touchent aux obstacles logistiques et au coût de la collecte du combustible. Si elles ne sont pas gérées convenablement, les cultures énergétiques entrent en concurrence avec la production alimentaire et peuvent avoir des effets néfastes sur les prix des denrées alimentaires (voir chapitre 3). La production de la biomasse est sensible, en outre, aux effets physiques du changement climatique.

Les projections surestiment probablement le rôle futur de la biomasse compte tenu des limites de la production durable de biomasse, à moins que des technologies novatrices ne viennent améliorer sensiblement la productivité. Selon les modèles climat-énergie, le recours à la biomasse pourrait presque quadrupler pour atteindre environ 150-200 exajoules, soit près du quart de l'énergie primaire mondiale, en 2050^b. Toutefois, le niveau maximum du potentiel technique durable des ressources de biomasse (résidus et cultures énergétiques), sans perturbation des ressources alimentaires et forestières, se situe entre 80 et 170 exajoules par an d'ici à 2050^c, et seulement une partie de cette production apparaît réaliste et réalisable du point de vue économique. De surcroît, certains modèles climatiques reposent sur l'utilisation du piégeage et stockage du CO₂ provenant de la biomasse, une technologie qui n'a pas fait ses preuves, pour parvenir à des émissions négatives et gagner du temps durant la première moitié du siècle^d.

Certains biocarburants liquides tels que l'éthanol à base de maïs, utilisés principalement dans les transports, peuvent aggraver plutôt qu'atténuer les

émissions de CO₂ sur la base d'un cycle de vie. Les biocarburants de la seconde génération basés sur les matières lignocellulosiques – paille, bagasse, herbe végétative et bois – laissent espérer une production durable à haut rendement qui émettra peu de gaz à effet de serre, mais se trouvent encore au stade de la recherche et du développement.

Solaire

L'énergie solaire – la source d'énergie la plus abondante sur terre – est le type d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide. Elle se présente sous la forme de deux technologies principales : les systèmes solaires photovoltaïques et l'énergie solaire concentrée. Les systèmes photovoltaïques convertissent l'énergie solaire directement en électricité. L'énergie solaire concentrée utilise des miroirs pour focaliser la lumière du soleil sur un fluide caloporteur qui produit de la vapeur pour faire tourner une turbine classique. L'énergie solaire concentrée, beaucoup moins coûteuse, est la mieux à même de produire de l'électricité de base à grande échelle pour remplacer les centrales électriques alimentées aux combustibles fossiles. Cette technologie, toutefois, nécessite de refroidir la turbine avec de l'eau – ce qui pose un problème dans les déserts, où les centrales solaires sont souvent installées. L'utilisation de cette technologie est donc limitée par la géographie (l'énergie solaire concentrée ne peut utiliser que les rayons provenant directement du soleil), ainsi que par le manque d'infrastructures de transport et l'ampleur des besoins de financement. Les installations solaires photovoltaïques sont moins sensibles à l'emplacement et plus rapides à construire et conviennent aussi bien à la production décentralisée qu'aux applications hors réseau. Les chauffe-eaux solaires peuvent réduire sensiblement la consommation de gaz ou d'électricité pour chauffer l'eau dans les bâtiments. La Chine domine le marché mondial des chauffe-eaux solaires : elle produit plus de 60 % de la capacité mondiale.

Aux coûts actuels, l'énergie solaire concentrée deviendrait compétitive avec le charbon, en termes de coût, au prix de 60 à 90 dollars la tonne^e de

CO₂. Cependant, grâce au processus d'apprentissage et aux économies d'échelle, le coût de cette forme d'énergie pourrait égaler celui du charbon en moins de dix ans et la puissance installée au plan mondial pourrait passer à 45-50 gigawatts d'ici à 2020^f. De même, le taux d'apprentissage de l'énergie solaire photovoltaïque fait que les coûts diminuent de 15 à 20 % chaque fois que la puissance installée est doublée^g. La capacité mondiale étant encore modeste, les possibilités de réduction des coûts par le biais du processus d'apprentissage sont substantielles.

Énergies éolienne, hydroélectrique et géothermique

La production d'énergie éolienne, hydroélectrique et géothermique est limitée par la disponibilité des ressources et des sites. L'énergie éolienne a augmenté de 25 % par an au cours des cinq dernières années, et la puissance installée se montait à 120 gigawatts en 2008. Cette année-là, l'Europe a installé plus de capacités de production d'énergie dans l'éolien que dans n'importe quel autre type de production d'électricité. Le changement climatique pourrait toutefois avoir une incidence sur les ressources éoliennes : la vitesse des vents s'accroîtra, mais leur régime deviendra plus variable^h. L'énergie hydraulique est la première source d'électricité renouvelable et représente 16 % de la production d'électricité à l'échelle planétaire. Son potentiel est limité par le nombre de sites adéquats (le potentiel mondial exploitable d'un point de vue économique est de 6 millions de gigawattheures par an)ⁱ, des besoins en capitaux élevés, le temps nécessaire au développement, les préoccupations relatives aux effets sociaux et environnementaux, et la variabilité climatique (s'agissant notamment des ressources en eau). Plus de 90 % du potentiel utilisable d'un point de vue économique mais encore inexploité se trouvent dans les pays en développement, principalement en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et de l'Est et en Amérique latine^j. L'Afrique exploite seulement 8 % de ses capacités hydroélectriques. Pour de nombreux pays d'Afrique et d'Asie du Sud, les échanges d'hydroélectricité à

ENCADRÉ 4.5 Les technologies de l'énergie renouvelable ont un énorme potentiel, mais se heurtent à des contraintes (suite)

l'échelle du continent pourraient fournir l'apport énergétique le moins coûteux possible, sans produire d'émissions de carbone. Mais le manque de volonté et de confiance politiques, ainsi que les préoccupations suscitées par la sécurité énergétique, limite ce type d'échanges. Par ailleurs, l'accentuation de la variabilité climatique influera sur le cycle hydrologique. Les sécheresses et la fonte des glaces pourraient réduire la fiabilité de l'approvisionnement hydroélectrique dans certaines régions. Néanmoins, après deux décennies de stagnation, l'énergie hydroélectrique prend de l'ampleur, notamment en Asie, même si, en raison de la crise financière actuelle, il est plus difficile de trouver les fonds nécessaires pour couvrir d'importants besoins de financement. L'énergie géothermique peut produire de l'électricité, du chauffage et du refroidissement. Elle couvre 26 % des

besoins en électricité de l'Islande et 87 % de la demande du pays en matière de chauffage de bâtiments. Cette source d'énergie nécessite toutefois d'importants investissements financiers dans les études géologiques initiales et le forage de coûteux puits géothermiques.

Compteurs et réseaux électriques intelligents

Grâce aux communications numériques bidirectionnelles entre les centrales électriques et les usagers, les réseaux électriques intelligents peuvent équilibrer l'offre et la demande en temps réel, lisser les pics de demande et faire participer activement les consommateurs à la production et à la consommation d'électricité. L'augmentation de la production d'électricité à partir de ressources renouvelables variables, telles que les énergies éolienne et solaire, permet aux réseaux électriques intelligents de gérer plus efficacement les fluctuations

de courant^k. Les véhicules électriques peuvent stocker de l'électricité au moment souhaité et les usagers peuvent revendre du courant au réseau. Les compteurs électriques intelligents peuvent communiquer avec les consommateurs, qui peuvent alors réduire leurs coûts en changeant leurs appareils ou en les utilisant à certains moments.

Sources :

- a. AIE 2008b.
- b. AIE 2008b ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; Knopf *et al.*, à paraître.
- c. German Advisory Council on Global Change 2008 ; Rokityanskiy *et al.* 2006 ; Wise *et al.* 2009.
- d. Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.
- e. AIE 2008b ; Yates, Heller et Yeung 2009.
- f. Yates, Heller et Yeung 2009.
- g. Neij 2007.
- h. Pryor, Barthelmie et Kjellstrom 2005.
- i. AIE 2008b.
- j. Banque mondiale 2008b.
- k. Worldwatch Institute 2009.

Tableau 4.4 Instruments d'intervention adaptés au degré de maturité des technologies

| Degré de maturité | État d'avancement | Mesures à prendre pour passer au stade suivant | Mesures de soutien |
|---|---|--|---|
| Techniquement viable | Le concept scientifique de base a été prouvé et testé en laboratoire ou à une petite échelle. Des obstacles techniques subsistent, ainsi que des barrières liées aux coûts. | Efforts de développement et de démonstration pour prouver la viabilité opérationnelle à une grande échelle et à réduire les coûts au minimum. Internaliser les externalités mondiales. | Politique de développement technologique : R-D publique et privée importante, projets de démonstration à grande échelle. Internaliser les externalités mondiales grâce à la taxe carbone ou à un mécanisme de plafonnement et d'échange. Transfert de technologies. |
| Commercialement disponible et économiquement viable | La technologie est disponible auprès de fournisseurs commerciaux. Les coûts projetés sont bien appréhendés. La technologie est économiquement viable et se justifie par ses effets positifs sur le développement des pays. Mais elle ne peut pas encore faire concurrence aux combustibles fossiles en l'absence de subventions et/ou d'internalisation des externalités locales. | Rééquilibrer les règles du jeu entre les énergies propres et les combustibles fossiles. | Des politiques intérieures visant à rééquilibrer les règles du jeu : Éliminer les subventions en faveur des combustibles fossiles et internalisation des externalités locales. Proposer des mécanismes d'incitation financière en faveur des énergies propres. |
| Financièrement viable | La technologie est financièrement viable du point de vue des investisseurs du projet – son coût est similaire à celui des combustibles fossiles ou elle se caractérise par des rendements financiers élevés et des délais de recouvrement courts du côté de la demande. | Les obstacles et les défaillances du marché entravent l'accélération de l'utilisation de la technologie sur le marché. | Réglementation et incitations financières visant à éliminer les obstacles et défaillances du marché. Appui aux mécanismes de prestation et aux programmes de financement pour faciliter l'utilisation de la technologie à plus grande échelle. Éducation des consommateurs. |
| À grande échelle | La technologie est largement adoptée par le biais du marché. | | |

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

à haut rendement énergétique, aux énergies renouvelables et au piégeage et stockage du CO₂⁴³ ; elle indique aussi que la diminution de la place du nucléaire demanderait un recours considérablement accru aux énergies renouvelables et aux techniques de piégeage et de stockage du carbone provenant de combustibles fossiles⁴⁴. La disponibilité du PSC et le développement des biocarburants de la seconde génération suscitent de grandes incertitudes. Les techniques connues à l'heure actuelle offrent une marge de manœuvre limitée à l'intérieur de la gamme de technologies.

Jusqu'à présent, toutefois, l'innovation et le progrès technologique ont réduit le coût des efforts nécessaires pour surmonter de redoutables obstacles techniques lorsque les pouvoirs publics sont intervenus de façon efficace et opportune – un des défis majeurs auxquels le monde est confronté à l'heure actuelle. Les pluies acides et l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique sont deux exemples parmi de nombreux autres prouvant que les estimations des coûts de protection de l'environnement basées sur la technologie existant avant la réglementation sont très exagérées⁴⁵.

Les politiques de développement intelligentes sur le plan climatique doivent être adaptées au degré de maturité de chaque technologie et à la situation nationale, et peuvent accélérer le développement et le déploiement des technologies (graphique 4.11 et tableau 4.4).

Rendements énergétiques À court terme, la source de réductions d'émissions la plus importante et la moins coûteuse est l'augmentation du rendement énergétique du côté de l'offre et une utilisation plus rationnelle de l'énergie du côté de la demande dans le secteur électrique, l'industrie, les bâtiments et les transports. Des technologies éprouvées permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre à court terme grâce au piégeage des émissions de méthane⁴⁶ provenant de mines de charbon, de déchets municipaux solides et du torchage du gaz, et en abaissant les émissions de carbone noir engendrées par les combustibles traditionnels issus de la biomasse. Ces technologies peuvent aussi améliorer la sécurité dans les mines de charbon, ainsi que la santé publique en réduisant la pollution atmosphérique⁴⁷. Bien que financièrement viables pour les investisseurs, de nombreuses mesures de maîtrise de l'énergie ne sont pas pleinement exploitées. La réalisation de ces économies peu coûteuses exige l'adoption de réglementations telles que les normes et les codes d'efficacité énergétique – en même temps que des incitations financières, des réformes institutionnelles, des mécanismes de financement et l'éducation des consommateurs – pour remédier aux défaillances et obstacles du marché.

Technologies à faible intensité de carbone existantes du côté de l'offre

À court et moyen terme, des combustibles à émissions faibles ou nulles utilisables dans le secteur de l'électricité – énergies

renouvelables et énergie nucléaire – sont disponibles sur le marché et pourraient être déployés à une échelle beaucoup plus grande si l'on adopte les politiques nécessaires et si l'on met en place les dispositifs réglementaires requis. Des réseaux électriques intelligents et robustes peuvent renforcer la fiabilité des réseaux électriques et réduire au minimum les inconvénients liés à l'utilisation d'énergies renouvelables variables et à la production décentralisée (voir encadré 4.5). L'utilisation du gaz à la place du charbon permet aussi d'atténuer les risques de changement climatique, mais accroît le risque d'insécurité énergétique pour les pays importateurs de gaz. La plupart des technologies exploitant les énergies renouvelables sont viables sur le plan économique, mais pas encore sur le plan financier. Il est donc nécessaire de recourir à des subventions (pour internaliser les externalités) afin de rapprocher le coût de ces techniques de celui des combustibles fossiles. Pour que ces technologies puissent être déployées à une plus grande échelle, il faut faire en sorte que les prix des combustibles fossiles reflètent pleinement le coût de la production et des externalités, et mettre en place des incitations financières favorisant le recours aux technologies à faible émission de carbone.

Technologies de pointe S'il est vrai que les technologies disponibles sur le marché peuvent contribuer sensiblement à la mise en place des mesures d'atténuation nécessaires à court et moyen terme⁴⁸, un réchauffement ne dépassant pas 2 °C demande le développement et le déploiement de technologies de pointe (piégeage et stockage de CO₂ dans le secteur de l'électricité et l'industrie ; biocarburants de la seconde génération ; véhicules électriques) à une échelle et à un rythme sans précédent (encadré 4.6). Les politiques visant à tarifier correctement le carbone sont essentielles, de même que les efforts déployés au niveau international pour transférer les technologies à faible intensité de carbone aux pays en développement. Compte tenu des délais requis par le développement des technologies et parce que les émissions devront atteindre prochainement leur niveau maximum pour que le réchauffement puisse être limité à 2 °C, les pouvoirs publics doivent stimuler la recherche, le développement et les activités de démonstration, dès aujourd'hui, afin d'accélérer l'innovation et le déploiement de technologies de pointe. Les pays développés doivent prendre l'initiative pour que ces technologies deviennent une réalité.

Il importe de concevoir une démarche fondée sur des systèmes intégrés pour assurer la compatibilité des politiques en matière de réduction d'émissions au plan sectoriel comme au niveau global. Les mécanismes axés sur le marché, tels que les dispositifs de plafonnement et d'échange de carbone et la taxe sur les émissions de CO₂ (voir chapitre 6), encouragent le secteur privé à investir dans des technologies à faible émission de carbone et à faible coût permettant de réduire radicalement les émissions.

ENCADRÉ 4.6 Technologies de pointe

La technique du **piégeage et stockage du carbone (PSC)** pourrait permettre de réduire de 85 à 95 % les émissions issues de combustibles fossiles et déterminera dans une grande mesure la capacité des combustibles fossiles à continuer de jouer un rôle important dans un monde où des limites sont imposées aux émissions de carbone. Elle comprend trois étapes :

- Le piégeage du CO₂ émis par des sources fixes importantes, telles que les centrales électriques ou d'autres procédés industriels, avant et après la combustion.
- Le transport par canalisation vers des sites de stockage.
- Le stockage grâce à l'injection du CO₂ dans des sites géologiques : les gisements de pétrole et de gaz épuisés (pour assister la récupération du pétrole et du gaz), les veines de charbon (pour faciliter la récupération du méthane des houillères), les formations salines situées en profondeur et les océans.

À l'heure actuelle, le PSC n'est compétitif avec le charbon classique qu'au prix de 50 à 90 dollars la tonne de CO₂^a. La technique du PSC, qui se trouve encore au stade de la recherche et du développement, n'est pas mûre. Le nombre de sites géologiques à la fois viables d'un point de vue économique et proches des sources d'émissions de CO₂ varie énormément d'un pays à l'autre. Les gisements pétroliers épuisés et les sites de récupération assistée de pétrole offrent la possibilité d'abaisser rapidement les coûts, mais une forte réduction des

émissions passe aussi par le stockage de carbone dans de profonds aquifères salins. Par ailleurs, le PSC réduit sensiblement l'efficacité des centrales électriques et présente des risques de fuites.

La priorité à court terme doit être de promouvoir de grands projets témoins pour réduire les coûts et améliorer la fiabilité. Quatre grands projets commerciaux de démonstration de PSC sont en cours d'exécution – à Sleipner (Norvège), Weyburn (Canada – États-Unis), Salah (Algérie) et Snohvit (Norvège) – principalement à partir du gaz ou de la gazéification du charbon. Ensemble, ces projets permettent de capter quatre millions de tonnes de CO₂ par an. Un scénario de 450 ppm de CO₂e exige la construction de 30 grandes installations témoins d'ici à 2020^b. Le piégeage du CO₂ dans des centrales électriques à faible rendement n'étant pas économiquement viable, il faudra construire de nouvelles centrales électriques à l'aide de technologies à très haut rendement afin de pouvoir les équiper ultérieurement de dispositifs de PSC. Il faut élaborer des cadres juridiques et réglementaires régissant la question de l'injection de CO₂ et des passifs à long terme. L'Union européenne a adopté une directive sur le stockage géologique du CO₂, tandis que les États-Unis ont proposé une réglementation en matière de PSC. Il est nécessaire aussi de procéder à une évaluation détaillée des sites de stockage de carbone potentiels, notamment dans les pays en développement. Sans un effort international de grande envergure,

il faudra au moins une dizaine d'années pour résoudre l'ensemble des problèmes techniques, juridiques, institutionnels, financiers et écologiques avant la mise en œuvre intégrale des applications.

La voiture hybride rechargeable est une option à court terme susceptible de faciliter la transition vers la voiture entièrement électrique^c. Elle allie l'utilisation de batteries et de petits moteurs à combustion interne, qui lui permettent de se mouvoir une partie du temps grâce à l'électricité qu'elle a emmagasinée en se rechargeant la nuit sur le réseau électrique. Lorsqu'ils fonctionnent avec de l'électricité de source renouvelable, ces véhicules émettent 65 % moins de CO₂ que les voitures à essence. En revanche, ils entraînent une augmentation de la consommation d'électricité, et la réduction nette des émissions dépend de la source d'électricité utilisée. Il est nécessaire de procéder à des améliorations substantielles et de réduire sensiblement les coûts dans le domaine du stockage de l'énergie. Les véhicules électriques sont alimentés uniquement par des batteries, mais nécessitent des accumulateurs d'une capacité beaucoup plus grande que celle des batteries de voitures hybrides rechargeables et sont plus coûteux.

Sources :

- AIE 2008b.
- AIE 2008b.
- AIE 2008b.
- NRDC 2007.

Les démarches intégrées en matière d'urbanisme et de transport conjuguent l'aménagement urbain, les transports en commun, l'efficacité énergétique des bâtiments, la production décentralisée d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable, et les véhicules propres (encadré 4.7). Les initiatives innovantes réalisées en Amérique latine dans le domaine des réseaux express d'autobus – voies réservées aux autobus, paiement à l'avance des tickets et connexions intermodales efficaces – témoignent d'une transformation plus générale du paysage urbain⁴⁹. Le passage à des modes de transports publics présente aussi des avantages au plan du développement sous la forme de gains de temps dans les transports, d'une diminution des encombrements et d'une

amélioration de la santé publique grâce à la réduction de la pollution atmosphérique locale.

Il faudra certes prendre des mesures éducatives de façon concertée pendant de nombreuses années pour modifier les comportements et les modes de vie et parvenir ainsi à vivre dans des sociétés qui émettent peu de carbone. Mais le changement des modes de vie peut faire baisser les émissions annuelles de CO₂ de 3,5 à 5 gigatonnes – c'est-à-dire 8 % des réductions d'émissions nécessaires (voir chapitre 8) – en réduisant les déplacements, le chauffage, les activités de refroidissement, l'usage des appareils et en accroissant la fréquentation des transports publics⁵⁰.

Les gouvernements ne doivent pas attendre un accord climatique mondial : ils peuvent dès maintenant prendre des mesures au plan national en faveur des énergies propres et efficaces en les justifiant par les avantages connexes qu'elles procurent en matière de développement et au plan financier. Ces mesures intérieures, qui permettent de gagner sur tous les tableaux, peuvent contribuer sensiblement à combler le déficit d'atténuation⁵¹, mais elles doivent être complétées par des accords climatiques internationaux qui permettront de combler le déficit restant.

Réaliser des économies grâce à l'amélioration des rendements énergétiques

Globalement, l'investissement d'un dollar supplémentaire dans l'amélioration des rendements énergétiques permet d'éviter d'investir plus de deux dollars du côté de l'offre ; l'effet est encore plus prononcé dans les pays en développement⁵². En matière de planification des ressources énergétiques, il convient donc de mettre sur le même pied l'efficacité énergétique (les negawatts) et les mesures classiques axées sur l'offre (les mégawatts). L'efficacité énergétique permet de réduire le montant des factures énergétiques des usagers, d'accroître la compétitivité des industries et de créer des

ENCADRÉ 4.7 *Le rôle de la politique urbaine dans l'atténuation du changement climatique et la réalisation d'avantages connexes au plan du développement*

L'urbanisation est souvent citée parmi les principales causes de l'accroissement des émissions mondiales^a, mais elle est davantage perçue comme un moteur majeur du développement^b. Elle se trouve donc à la croisée des politiques publiques sur le climat et le développement. La majeure partie des émissions se produit dans les villes précisément parce que c'est là que l'essentiel de la production et de la consommation a lieu. En outre, la forte concentration de populations et d'activités économiques dans les agglomérations peut être source d'efficacité – si elle s'accompagne de politiques judicieuses. Divers facteurs militent en faveur d'un programme contre le changement climatique au niveau des villes. Premièrement, les villes denses sont plus efficaces sur le plan de l'énergie et des émissions (par exemple au niveau des transports ; voir graphique ci-dessous) et les politiques locales peuvent contribuer énormément à encourager leur densification^c. Deuxièmement, l'influence prononcée et persistante de l'infrastructure sur les décisions relatives à l'emplacement des constructions résidentielles et commerciales à long terme réduit la mesure dans laquelle les émissions peuvent se modifier sous l'effet de signaux des prix. Il est donc nécessaire de prendre des mesures complémentaires en matière de réglementation et de planification de l'utilisation des sols. Troisièmement, l'interdépendance des systèmes qui forment la structure des villes – routes et réseaux de transports en commun ; services de l'eau, des eaux usées et de l'électricité ; bâtiments résidentiels,

commerciaux et industriels –, et qu'il n'est pas facile de modifier une fois que les schémas initiaux sont établis, ne fait que rendre encore plus impérative la nécessité de concevoir des villes à faibles émissions de carbone dans les pays qui connaissent une urbanisation rapide.

Comme on le verra au chapitre 8, les villes sont déjà devenues une source de dynamique politique et feront progresser l'action en faveur de l'atténuation du changement climatique sur la scène internationale, tout en poursuivant leurs propres initiatives sur le territoire national. Contrairement à l'idée reçue selon laquelle les autorités locales se concentrent uniquement sur les questions locales, plus de 900 villes des États-Unis se sont engagées à atteindre ou dépasser les objectifs du Protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre^d, tandis que le C40 Groupe des grandes villes pour le climat, dont l'objectif est de promouvoir la lutte contre le changement climatique, comprend des villes de tous les continents^e.

Les villes sont particulièrement bien placées pour apporter des réponses tangibles, au niveau local, à une question d'envergure mondiale telle que le changement climatique. Un grand nombre d'entre elles ont adopté des réglementations visant à restreindre l'utilisation de sacs en plastique, de gobelets jetables et d'eau en bouteille. Ces initiatives peuvent faire passer des messages importants dans la société, mais elles n'ont eu, jusqu'ici, que des effets minimes sur l'environnement. La mise en œuvre d'initiatives plus

ambitieuses, susceptibles d'avoir un plus grand impact – telles que les taxes sur les encombrements de la circulation, les incitations en faveur de la construction de bâtiments écologiques, le soutien aux modes d'urbanisme propices à une réduction de la dépendance vis-à-vis de l'automobile et l'intégration de la tarification du carbone dans les taxes foncières et les droits d'aménagement – nécessitera en fin de compte un élan culturel plus global amenant les populations à triompher de leur désir de préserver des modes de vie à forte intensité de carbone, ou d'accéder à de tels modes. Heureusement, un grand nombre de mesures pilotées par les villes en matière d'atténuation présente des avantages du point de vue de l'adaptation aux changements climatiques, ce qui réduira la nécessité de faire des compromis.

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

a. Dodman 2009.

b. Banque mondiale 2008f.

c. Banque mondiale 2009b.

d. U.S. Conference of Mayors Climate Change Protection Agreement.

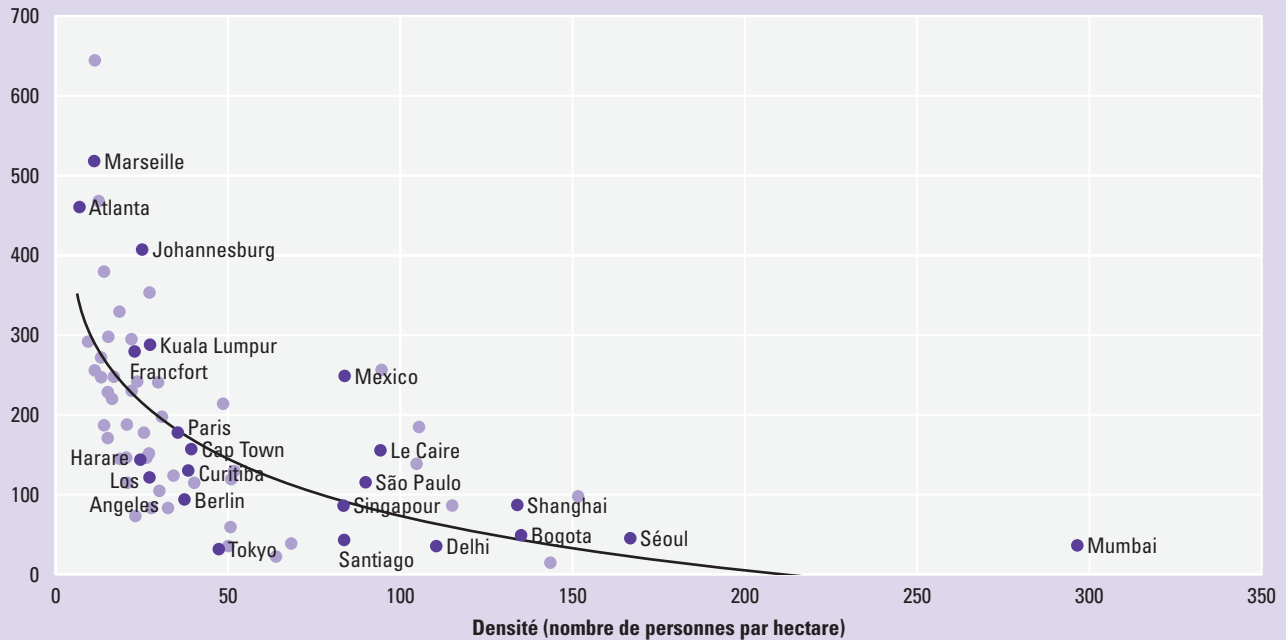
e. Voir <http://www.c40cities.org/>.

Par ailleurs, les organisations « United Cities and Local Governments » et « International Council for Local Environmental Initiatives » ont adopté conjointement une résolution demandant que les villes soient mieux représentées dans le processus de négociation de la CCNUCC.

ENCADRÉ 4.7 Le rôle de la politique urbaine dans l'atténuation du changement climatique et la réalisation d'avantages connexes au plan du développement (suite)

Les émissions produites par les transports sont beaucoup plus faibles dans les villes à forte densité

Émissions individuelles provenant des transports (kg par habitant)



Source : Banque mondiale 2009b.

Note : Aucun ajustement n'a été effectué au titre du revenu car, selon une analyse de régression des émissions dues aux transports par rapport à la densité et au revenu, la densité est le facteur clé, et non le revenu. Données de 1995.

emplois. Elle est essentielle à la réalisation du scénario du réchauffement de 2 °C, car elle permet de gagner du temps en repoussant la construction de capacités supplémentaires pendant que des technologies de pointe propres sont développées et mises sur le marché.

Les bâtiments consomment près de 40 % de l'énergie finale utilisée dans le monde⁵³, la moitié environ pour chauffer les locaux et l'eau, le reste pour faire fonctionner les appareils, l'éclairage, la climatisation et la réfrigération⁵⁴. Les possibilités d'amélioration des rendements énergétiques résident dans l'enveloppe des bâtiments (toiture, murs, fenêtres, portes et isolation), le chauffage des locaux et de l'eau, et les appareils. Les bâtiments sont un des domaines où il est possible d'atténuer le plus efficacement les émissions : plus de 90 % du potentiel d'atténuation sont réalisables à un CO₂ de moins de 20 dollars la tonne⁵⁵. Selon certaines études, les technologies existantes en matière de rendement énergétique permettraient d'économiser, de façon efficace par rapport aux coûts, de 30 à 40 % de l'énergie utilisée dans les nouveaux bâtiments sur la base d'un cycle de vie⁵⁶.

La plupart de ces études reposent sur des données concernant les pays à revenu élevé, mais les possibilités d'écono-

mies d'énergie peuvent être encore plus importantes dans les pays en développement en raison du faible niveau d'efficacité énergétique qui constitue le point de départ. Par exemple, la technologie utilisée actuellement en Chine pour chauffer les bâtiments consomme 50 à 100 % plus d'énergie que les techniques appliquées en Europe occidentale. L'amélioration du rendement énergétique des bâtiments chinois alourdirait certes de 10 % les coûts de construction, mais elle permettrait de réduire les coûts énergétiques de plus de 50 %⁵⁷. Les innovations technologiques, telles que les matériaux de construction de pointe, peuvent créer encore plus de possibilités d'économies d'énergie (voir chapitre 7). Les bâtiments intégrés à émissions nulles, qui conjuguent des mécanismes d'économie d'énergie et la production d'électricité et de chauffage sur place à partir de l'énergie solaire et de la biomasse, sont réalisables sur le plan technique et économique – et leurs coûts diminuent⁵⁸.

L'industrie manufacturière est à l'origine du tiers de la consommation mondiale d'énergie, et les possibilités d'économie d'énergie dans l'industrie sont particulièrement élevées dans les pays en développement. Les principales options en la matière sont l'amélioration de l'efficacité

des équipements à forte intensité énergétique, tels que les moteurs et les chaudières des industries caractérisées par une grande intensité énergétique : production de fer, d'acier, de ciment et de produits chimiques et pétrochimiques. Une des mesures les plus économiques consiste à conjuguer la chaleur et l'électricité. Certaines technologies connues, alliées à des pratiques optimales, pourraient réduire de 20 à 25 % la consommation énergétique du secteur industriel, en amenuisant les empreintes carbone sans sacrifier la croissance⁵⁹. Au Mexique, la cogénération réalisée dans les raffineries de Pemex, la grande compagnie pétrolière publique, pourrait fournir plus de 6 % de la capacité de puissance installée à un coût d'atténuation négatif (la vente d'électricité et de chauffage, autrefois gaspillés, produirait suffisamment de recettes pour compenser largement les investissements requis)⁶⁰.

L'amélioration du rendement énergétique des véhicules, par exemple grâce au passage à la voiture hybride, est le moyen le plus efficace au plan des coûts de réduire les émissions dans le secteur des transports à court et à moyen terme. L'amélioration des groupes motopropulseurs (notamment grâce à la réduction de la taille des moteurs à combustion interne classiques) et d'autres modifications dans la conception des véhicules, telles que la diminution du poids, l'optimisation des transmissions et l'installation de mécanismes marche-arrêt équipés de dispositifs de freinage par récupération, peuvent aussi améliorer le rendement énergétique des véhicules.

De surcroît, une planification urbaine judicieuse – visant à créer des villes plus denses, plus compactes et reposant sur un aménagement urbain polyvalent qui favorise la croissance près des centres-villes et l'aménagement de corridors de transit pour éviter l'expansion tentaculaire des agglomérations – peut réduire sensiblement la demande d'énergie et les émissions de CO₂. Elle réduit le nombre de voitures-kilomètres parcourus et rend possible le recours à des systèmes énergétiques intégrés et de district dans le domaine du chauffage⁶¹. Au Mexique, par exemple, l'aménagement urbain à forte densité devrait réduire les émissions de 117 millions de tonnes de CO₂e durant la période 2009-2030, tout en engendrant des avantages sociaux et écologiques supplémentaires⁶².

Défaillances du marché, obstacles commerciaux et non commerciaux L'ampleur du potentiel inexploité en matière de rendements énergétiques montre qu'il n'est pas facile de réaliser des économies d'énergie à faible coût. Les mesures d'économie d'énergie fragmentées, à petite échelle, impliquant la participation de multiples parties prenantes et de dizaines de millions de décideurs, sont fondamentalement plus complexes que les mesures à grande échelle agissant sur l'offre. Les investissements dans la maîtrise de l'énergie nécessitent des capitaux d'emblée, alors

que les économies futures sont moins tangibles, ce qui rend ces investissements risqués en comparaison des opérations d'approvisionnement énergétique reposant sur les actifs. La recherche de l'efficacité énergétique se heurte à de nombreux obstacles et défaillances propres au marché, ainsi qu'à des obstacles non commerciaux. Pour surmonter ces écueils, il faut mettre en œuvre des politiques et des interventions impliquant des coûts supplémentaires (encadré 4.8). L'« effet de rebond » est un autre sujet de préoccupation : l'acquisition d'équipements à haut rendement énergétique entraîne un allègement des factures d'énergie qui incite les consommateurs à en consommer davantage – ce qui annule une partie des économies d'énergie. Les données empiriques révèlent toutefois que l'ampleur de ce rebond est faible ou modérée : les effets à long terme se situent entre 10 et 30 % en ce qui concerne les transports individuels ainsi que le chauffage et la climatisation des locaux⁶³ et peuvent être atténués grâce aux signaux par les prix.

Les prix devraient refléter les coûts véritables Nombreux sont les États qui subventionnent les combustibles fossiles de manière implicite ou explicite, faussant ainsi les décisions d'investissement dans les énergies propres. On estime que les subventions énergétiques des 20 pays en développement qui ont le plus recours à ce type de mesures se situaient aux alentours de 310 milliards de dollars par an en 2007, soit environ 0,7 % du PIB mondial⁶⁴. Ces subventions servent pour l'essentiel à abaisser artificiellement les prix des combustibles fossiles, ce qui n'incite pas à économiser l'énergie et rend les énergies propres moins intéressantes d'un point de vue financier⁶⁵.

La suppression des subventions en faveur des combustibles fossiles réduirait la demande d'énergie, encouragerait l'offre d'énergie propre et abaisserait les émissions de CO₂. Il n'est plus à démontrer que le renchérissement de l'énergie entraîne une baisse sensible de la demande⁶⁶. Si l'Europe avait emboîté le pas aux États-Unis et prélevé des taxes peu élevées sur les carburants, sa consommation de combustibles serait le double de ce qu'elle est aujourd'hui⁶⁷. L'élimination des subventions sur les combustibles fossiles dans les secteurs électrique et industriel pourrait entraîner une réduction des émissions mondiales de CO₂ de 6 % par an et une augmentation du PIB de la planète⁶⁸.

L'élimination de ces subventions n'est toutefois pas chose facile : elle exige une grande détermination politique. L'argument souvent invoqué pour justifier les subventions en faveur des combustibles est qu'elles visent à protéger les pauvres, même si, souvent, elles profitent principalement aux consommateurs plus aisés. Pour être politiquement viable et socialement acceptable, comme on l'a vu aux chapitres 1 et 2, la réforme doit se composer de mesures visant tout à la fois à mettre en place une protection sociale efficace au profit des groupes à faible revenu et à éliminer progressive-

ENCADRÉ 4.8 *La maîtrise de l'énergie se heurte à de nombreux obstacles et défaillances sur le marché ainsi qu'à des obstacles non commerciaux*

- **Énergie vendue à faible prix ou en dessous du prix du marché.** La faiblesse des prix énergétiques va à l'encontre des incitations à faire des économies d'énergie.
- **Carences de la réglementation.** Les consommateurs qui ne payent pas leur chauffage sur la base des quantités d'énergie consommées ne sont pas incités à ajuster la température, et les tarifs des services d'utilité collective peuvent favoriser une utilisation peu rationnelle de l'énergie.
- **Absence de champion institutionnel et faible capacité des prestataires de services.** Les mesures axées sur la maîtrise de l'énergie sont fragmentées. En l'absence d'un champion institutionnel apte à coordonner et à promouvoir une utilisation rationnelle de l'énergie, personne n'en fait sa priorité. En outre, les prestataires de services de maîtrise de l'énergie sont peu nombreux et leur capacité ne sera pas mise en place du jour au lendemain.
- **Incitations inexistantes ou inadéquates.** Les compagnies d'électricité réalisent des bénéfices en produisant et en vendant davantage d'électricité, non

pas en économisant l'énergie. Pour la plupart des consommateurs, le coût de l'énergie est faible en comparaison des autres dépenses. Comme ce sont les locataires qui règlent généralement les factures d'énergie, les propriétaires de logements ne sont guère enclins à investir dans des appareils efficaces, ni dans des travaux d'isolation.

- **Préférences des consommateurs.** En matière d'achat d'automobiles, les consommateurs prennent généralement leurs décisions en fonction de la taille, de la vitesse et de l'apparence des véhicules, plutôt que sur la base de leur efficacité énergétique.
- **Coûts initiaux plus élevés.** De nombreux produits à haut rendement demandent des investissements initiaux élevés. Les consommateurs souhaitent généralement que les délais de recouvrement soient très courts et ne sont pas disposés à prendre en charge des coûts initiaux élevés. Abstraction faite des préférences de chacun, les consommateurs à faible revenu n'ont pas toujours les moyens d'acheter des produits efficaces.

- **Obstacles au financement et coûts de transaction élevés.** De nombreux projets de maîtrise de l'énergie peinent à obtenir des financements. En général, les institutions financières ne connaissent pas les questions d'efficacité énergétique ou s'y intéressent peu en raison de la faible taille des transactions, du niveau élevé des coûts de transaction et de l'ampleur des risques perçus. Les sociétés de services énergétiques manquent souvent de garanties.
- **Produits non disponibles.** Certains équipements à haut rendement se trouvent facilement dans les pays à revenu élevé ou intermédiaire, mais pas dans les pays à faible revenu où des taxes d'importation élevées les rendent difficilement accessibles.
- **Manque d'information.** Les consommateurs disposent de peu d'informations sur les coûts, les avantages et la technologie de l'efficacité énergétique. Les entreprises ne sont pas prêtes à financer des audits énergétiques qui les informeraient des possibilités d'économies d'énergie.

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

ENCADRÉ 4.9 *La tarification du carbone ne suffit pas*

La tarification du carbone ne peut à elle seule garantir le déploiement à grande échelle de technologies énergétiques efficaces et propres, car elle ne compense pas pleinement les défaillances du marché, ni les barrières non commerciales à l'innovation et à la diffusion des technologies à faible intensité de carbone^a. Premièrement, les prix n'influent que sur un obstacle parmi bien d'autres. Les autres barrières, telles que le manque de financements et de capacités institutionnelles, entravent la prestation de services d'économie d'énergie. Deuxièmement, si l'élasticité de la demande d'énergie par rapport aux prix apparaît élevée à long terme, elle est généralement faible à court terme, car les usagers disposent de peu de possibilités à brève échéance à court terme pour

réduire leurs besoins en transport et leur consommation d'énergie à usage domestique face à la variation des prix des combustibles. Les prix des carburants automobiles se sont caractérisés dans le passé par une élasticité à court terme de seulement $-0,2$ à $-0,4$ ^b (qui est même tombée dans une fourchette de $-0,03$ à $-0,08$ ces dernières années), mais présentent une élasticité à long terme située entre $-0,6$ et $-1,1$. Troisièmement, la faible élasticité par rapport aux prix qui caractérise l'adoption de nombreuses mesures d'économie d'énergie découle peut-être aussi de l'existence de coûts d'opportunité élevés dans les pays en développement, tels que la Chine, qui connaissent une expansion rapide. Un rendement de 20 % procuré par une mesure d'efficacité énergétique

est attrayant, mais les investisseurs peuvent être tentés de renoncer à investir dans l'efficacité énergétique si d'autres placements offrent des rendements plus élevés pour des risques équivalents. Autrement dit, il est important de mettre en œuvre de solides politiques de tarification, mais cela ne suffit pas. Ces mesures doivent être conjuguées à des réglementations visant à corriger les défaillances du marché, à éliminer les obstacles commerciaux et non commerciaux, et à promouvoir le développement de technologies propres.

Sources :

- ETAAC 2008.
- Chamon, Mauro et Okawa 2008.
- Hughes, Knittel et Sperling 2008.

exigeant des compagnies de distribution qu'elles communiquent aux pouvoirs publics et aux autres parties prenantes les informations essentielles dont elles ont besoin pour être mieux à même d'analyser la question de l'élimination des subventions et prendre des décisions en toute connaissance de cause.

Les prix de l'énergie devraient refléter le coût de la production et tenir compte des externalités environnementales aux plans local et mondial. La pollution de l'air des villes due à la combustion de matières fossiles aggrave les risques sanitaires et provoque des décès prématurés. Les maladies respiratoires dues à la pollution atmosphérique sont une cause de mortalité majeure dans les pays à faible revenu et contribuent fortement au fardeau que représente la maladie au plan mondial⁶⁹. En Chine, une réduction de 15 % des gaz à effet de serre en dessous du niveau des émissions prévues dans le scénario du laissez-faire, d'ici à 2020, permettrait d'éviter 125 000 à 185 000 décès prématurés par an dus à la pollution engendrée par la production d'électricité et la consommation d'énergie domestique⁷⁰. La tarification de la pollution atmosphérique locale peut contribuer efficacement à abaisser les coûts sanitaires connexes.

La tarification du carbone, par le prélèvement d'une taxe sur les émissions de CO₂ ou grâce à un mécanisme de plafonnement et d'échange (voir chapitre 6), est une des clés du déploiement à plus grande échelle des technologies énergétiques propres de pointe et du rééquilibrage des règles du jeu pour permettre à ces technologies de lutter à armes égales avec les combustibles fossiles⁷¹. Elle crée des incitations et réduit les risques liés aux innovations et aux investissements privés dans les technologies énergétiques efficaces et propres à une grande échelle (voir chapitre 7)⁷². Les pays développés devraient prendre l'initiative en matière de tarification du carbone. La nécessité de protéger les pauvres contre la hausse des prix de l'énergie et de dédommager les industries perdantes, notamment dans les pays en développement, sont des préoccupations légitimes. Une solution réside dans le recours aux programmes de protection sociale et aux mécanismes de soutien des revenus non générateurs de distorsions, financés éventuellement par les recettes tirées des taxes sur les émissions de CO₂ ou les enchères de permis d'émissions (voir chapitres 1 et 2).

La tarification du carbone ne suffit pas : les politiques de rendement énergétique sont aussi très importantes

Les politiques de tarification du carbone ne pourront pas assurer à elles seules le développement et le déploiement à grande échelle de technologies à haut rendement énergétique et sobres en carbone (encadré 4.9). L'amélioration des rendements énergétiques se heurte à des obstacles dans plusieurs secteurs. Dans le secteur électrique, où un petit nombre de responsables décident de l'opportunité d'adopter des mesures d'économie d'énergie, les incitations finan-

cières ont de bonnes chances de donner des résultats. En ce qui concerne les transports, les bâtiments et l'industrie – où la mise en œuvre de ce type de mesures dépend des préférences et de l'action d'un grand nombre d'individus décentralisés –, la demande d'énergie réagit moins aux signaux des prix et la réglementation est généralement plus efficace. Divers instruments d'intervention peuvent reproduire les expériences qui ont permis d'éliminer les obstacles aux économies d'énergie.

Réglementation

Les objectifs d'intensité énergétique, les normes sur les appareils, les normes de construction, les cibles de performance de l'industrie (consommation d'énergie par unité de production) et les normes de rendement énergétique à l'échelle d'une économie font partie des mesures qui présentent le meilleur rapport coût-efficacité. Plus de 35 pays ont adopté des cibles nationales d'efficacité énergétique. La France et le Royaume-Uni sont allés un peu plus loin en demandant aux sociétés énergétiques de respecter des quotas d'économie d'énergie. Au Japon, les normes de rendement énergétique exigent des services d'utilité collective qu'ils réalisent des économies d'électricité égales à un certain pourcentage du niveau de référence de leurs ventes ou de leur charge de base⁷³. Le Brésil, la Chine et l'Inde ont adopté des lois sur les rendements énergétiques, mais, comme partout, l'efficacité des textes dépend de leur degré d'application. Une autre option est l'élimination progressive de l'éclairage incandescent.

Le respect des normes de rendement énergétique peut permettre d'éviter ou de reporter la construction de capacités de production d'électricité supplémentaires et de réduire les prix à la consommation. Les objectifs de performance énergétique dans l'industrie stimulent l'innovation et accroissent la compétitivité. En Europe, les normes de construction ont permis de réaliser environ 60 % d'économies dans les nouveaux bâtiments par rapport aux bâtiments construits avant le premier choc pétrolier dans les années 70⁷⁴. Aux États-Unis, les normes de rendement des réfrigérateurs ont permis d'économiser 150 gigawatts de demande d'électricité de pointe au cours des 30 dernières années, c'est-à-dire davantage que la capacité installée de la totalité du parc nucléaire du pays⁷⁵. Les normes de rendement énergétique et les programmes d'étiquetage coûtent environ 0,015 dollar le kilowattheure, bien moins que toute option d'alimentation en électricité⁷⁶. Le prix moyen des réfrigérateurs a baissé de plus de 50 % aux États-Unis depuis les années 70, alors que leur efficacité a augmenté de 75 %⁷⁷.

Incitations financières

Dans de nombreux pays en développement, l'application peu rigoureuse de la réglementation est un sujet de préoccupation. La réglementation doit s'accompagner d'incitations

Tableau 4.5 Interventions des pouvoirs publics axées sur la maîtrise de l'énergie, les énergies renouvelables et les transports

| Domaine d'intervention | Interventions axées sur la maîtrise de l'énergie et la gestion de la demande | Interventions axées sur les énergies renouvelables | Obstacles pris en compte |
|----------------------------|--|---|--|
| À l'échelle de l'économie | Élimination des subventions en faveur des combustibles fossiles Fiscalité (taxe sur les combustibles ou le carbone) Limites quantitatives (mécanisme de plafonnement et d'échange) | | Les externalités environnementales ne sont pas incluses dans le prix Distorsions dues aux subventions en faveur des combustibles fossiles : effets régressifs et augmentation de la demande |
| Réglementation | Cibles de maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'économie Obligations en matière de rendement énergétique Normes des appareils Normes de construction Cibles de performance énergétique dans l'industrie Normes de consommation de carburant | Achat obligatoire, accès ouvert et équitable au réseau Normes relatives aux portefeuilles d'énergies renouvelables Normes de carburant à faible intensité de carbone Normes technologiques Réglementation de l'interconnexion | Absence de cadre juridique pour les producteurs indépendants d'énergie renouvelable Manque d'accès de l'énergie renouvelable au réseau de transport Manque d'incitations ou incitations inadéquates en matière d'économie d'énergie Démarche axée sur l'offre Conditions d'interconnexion mal définies |
| Incitations financières | Crédits d'impôt Subventions d'équipement Découplage des bénéficiaires et des ventes Rabais en faveur des consommateurs Tarifs à différenciation temporelle Taxes sur le carburant Péage de congestion Taxe en fonction de la taille du moteur Assurances ou taxes sur les véhicules basées sur le nombre de kilomètres parcourus Taxes sur les véhicules utilitaires légers et les véhicules loisir-travail | Tarifs de rachat d'électricité, comptage net Certificats verts Tarification en temps réel Crédits d'impôt Subventions d'équipement | Coûts d'investissement élevés Règles de tarification défavorables Manque d'incitations susceptibles de pousser les consommateurs et les services d'utilité collective à économiser l'énergie |
| Mécanismes institutionnels | Service d'utilité collective Organismes de promotion de la maîtrise de l'énergie Autorité ou société indépendante Sociétés de services énergétiques (SSE) | Service d'utilité collective Producteurs d'électricité indépendants | Un trop grand nombre d'acteurs décentralisés |
| Mécanismes de financement | Financements sous forme de prêts et garanties partielles de prêts SSE Efficacité énergétique des services d'utilité collective, programme de gestion de la demande, y compris les fonds de contribution aux avantages du système | Fonds de contribution aux avantages du système Gestion du risque et financement à long terme Prêts concessionnels | Coûts d'investissement élevés et inadéquation par rapport aux prêts à court terme Manque de garanties des SSE et faible montant des transactions Perception de risques élevés Coûts de transaction élevés Manque d'expérience et de connaissances |
| Promotion et éducation | Étiquetage Installation de compteurs Éducation des consommateurs | Éducation au sujet des avantages de l'énergie renouvelable | Manque d'information et de sensibilisation Perte de services |

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

financières à l'intention des consommateurs et des producteurs. Les consommateurs à faible revenu sont particulièrement sensibles aux coûts initiaux élevés des produits à haut rendement. Les incitations financières visant à compenser ces coûts, tels que les rabais au profit des usagers et les prêts hypothécaires qui prennent en compte les mesures d'économie d'énergie dans le logement⁷⁸, peuvent modifier le comportement des consommateurs, rendre les produits plus abordables et éliminer les barrières à l'entrée de nouveaux

producteurs efficaces sur le marché. De surcroît, la réglementation étant vulnérable aussi aux « effets de rebond », il est nécessaire de mettre en œuvre des politiques de tarification pour décourager la consommation. Les taxes sur les combustibles se sont révélées un des moyens les plus efficaces par rapport aux coûts de réduire la demande d'énergie dans les transports, de même que les taxes de congestion, les assurances ou taxes sur les véhicules basées sur le nombre de kilomètres parcourus, et le relèvement des taxes sur les

ENCADRÉ 4.10 *Les programmes californiens de rendement énergétique et d'énergie renouvelable*

Aux États-Unis, la Californie joue un rôle moteur en matière d'efficacité énergétique : elle maintient sa consommation d'électricité par habitant inchangée depuis 30 ans, à un niveau nettement inférieur à la moyenne nationale américaine (graphique a ci-contre). Les normes de rendement énergétique pour les appareils et les constructions, conjuguées aux incitations financières en faveur des programmes de gestion par action sur la demande de services énergétiques, seraient à l'origine du quart de la différence (graphique b). La Californie a découplé les bénéfices des services d'utilité collective et les ventes d'énergie en 1982 et, récemment, est allée plus loin avec sa politique de « découplage renforcé » (decoupling-plus) : les services d'utilité collective gagnent plus d'argent s'ils atteignent ou dépassent les objectifs d'économie d'énergie.

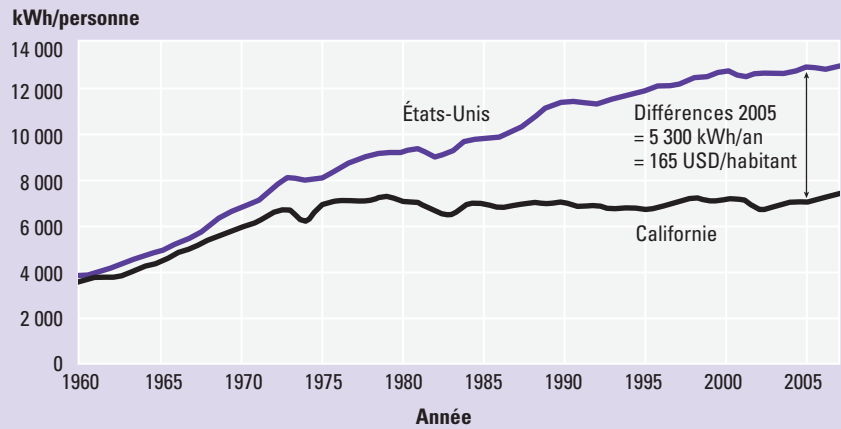
Le programme de rendement énergétique de l'État de Californie s'appuie sur un budget annuel de 800 millions de dollars, alimenté par les surtaxes sur l'électricité et consacré aux passations de marchés, à la gestion de la demande et aux activités de recherche-développement. Le coût moyen du programme est d'environ 0,03 dollar le kilowattheure, chiffre bien inférieur aux coûts d'approvisionnement (graphique c). Pour promouvoir l'énergie renouvelable, l'État applique des normes de portefeuilles d'énergies renouvelables visant à faire passer à 20 % la part de ces énergies dans la production d'électricité d'ici à 2010.

En juin 2005, la Californie est devenue le premier État américain à publier un décret sur le changement climatique, dont l'objectif est de ramener les émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 2000 d'ici à 2010, à leur niveau de 1990 d'ici à 2020 et à un niveau inférieur de 80 % à celui de 1990 d'ici à 2050. L'efficacité énergétique devrait contribuer à hauteur d'environ 50 % à cette réduction.

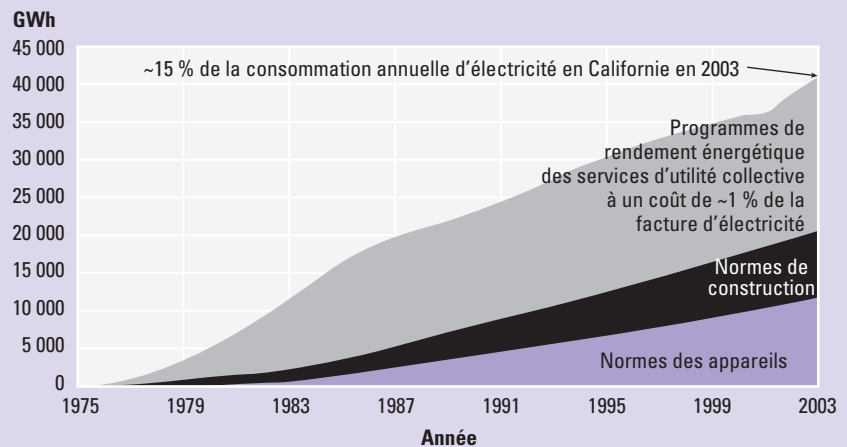
Sources : California Energy Commission 2007a ; Rosenfeld 2007 ; Rogers, Messenger et Bender 2005 ; Sudarshan et Sweeney, à paraître.

En Californie, la consommation d'électricité par habitant est inchangée depuis 30 ans, en grande partie grâce à la gestion de la demande par les services d'utilité collective et à l'adoption de normes de rendement énergétique. Le coût de l'efficacité énergétique est beaucoup plus faible que celui de l'approvisionnement en électricité.

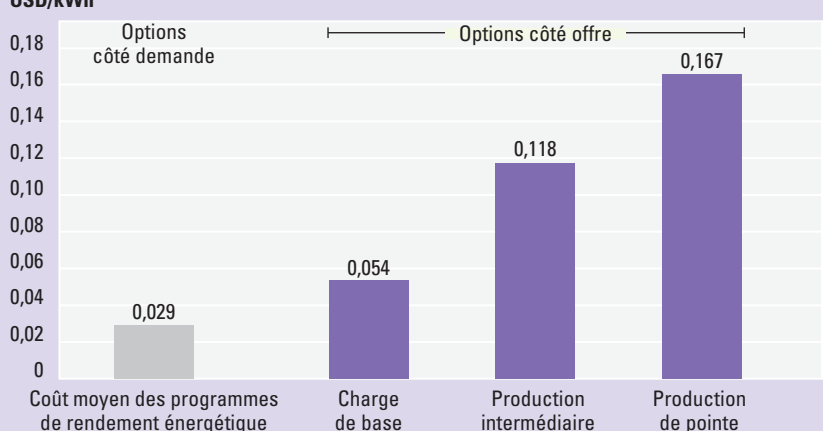
a. Ventes d'électricité par habitant



b. Économies d'énergie annuelles dues aux normes et aux programmes d'efficacité énergétique



c. Comparaison du coût des programmes de rendement énergétique californiens et des coûts de production d'électricité



ENCADRÉ 4.11 *L'expérience de la Banque mondiale dans le domaine du financement des mesures d'efficacité énergétique*

La Banque mondiale et la Société financière internationale (IFI) ont financé divers projets faisant intervenir des intermédiaires financiers dans le domaine de l'efficacité énergétique, principalement en Europe de l'Est et en Asie de l'Est. L'IFI a promu l'utilisation d'un mécanisme de garantie novateur par l'intermédiaire de certaines banques nationales avec le Fonds de garantie pour une meilleure maîtrise de l'énergie en Hongrie. Une subvention du Fonds pour l'environnement mondial d'un montant de 17 millions de dollars a servi de garantie

à des prêts de 93 millions de dollars en faveur d'investissements au titre de l'amélioration du rendement énergétique. Aucune garantie n'ayant été exercée, les banques ont pris confiance et ont pu se familiariser avec les prêts dans le domaine de l'efficacité énergétique. Un des principaux enseignements tirés de l'expérience est l'importance de l'assistance technique, notamment au début, pour mieux faire connaître les questions d'efficacité énergétique, pour dispenser des services de formation et de conseil aux banques afin de les

aider à créer des mécanismes financiers, et pour renforcer les capacités des promoteurs de projets. En Bulgarie, les coûts de transaction du renforcement des capacités institutionnelles des institutions financières et des sociétés de services énergétiques – de la conception du projet au bouclage financier – correspondaient au début à environ 10 % du coût total des projets mais ils devraient, à terme, descendre à environ 5 à 6 %.

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde ; Taylor *et al.* 2008.

véhicules utilitaires légers et les véhicules loisir-travail (tableau 4.5).

La gestion des services énergétiques par une action sur la demande a engendré d'importantes économies. La clé du succès dans ce domaine est le découplage des bénéfices des services d'utilité collective et de la vente d'électricité pour inciter les services à faire des économies. Les organes de réglementation prévoient l'évolution de la demande et autorisent les services d'utilité collective à appliquer des tarifs qui leur permettront de couvrir leurs coûts et d'obtenir un rendement fixe établi à partir de cette prévision. Si la demande se révèle plus faible que prévu, l'organisme de réglementation laisse les prix augmenter pour permettre aux services d'utilité collective de réaliser le bénéfice prévu ; si elle est supérieure aux prévisions, l'organe de réglementation abaisse les prix pour restituer l'excédent aux consommateurs (encadré 4.10).

Réformes institutionnelles

Il est essentiel qu'un « champion institutionnel », tel qu'un organisme spécifiquement chargé des questions d'efficacité énergétique, coordonne les activités des diverses parties prenantes et s'efforce de promouvoir et de gérer les programmes de rendement énergétique. Plus de 50 pays (développés et en développement) disposent d'un organisme national chargé des questions d'efficacité énergétique. Il peut s'agir d'une organisation gouvernementale spécialisée dans les questions d'énergie propre et de rendements énergétiques (c'est le cas le plus fréquent), telle que le ministère thaïlandais de l'efficacité énergétique et du développement des énergies de substitution ; il peut s'agir aussi d'une société ou autorité indépendante, telle que la Société coréenne de gestion de l'énergie. Pour obtenir des résultats satisfaisants, ces organismes doivent s'appuyer sur des ressources

adéquates et être capables de travailler avec de nombreuses parties prenantes, faire preuve d'indépendance et assurer un suivi crédible des résultats⁷⁹.

Les sociétés de services énergétiques (SSE) fournissent des services, tels que les audits énergétiques, dans le domaine de l'efficacité énergétique, recommandent des mesures en matière d'économie d'énergie et fournissent des financements aux clients ; elles font office aussi d'« agrégateurs » (ou « intermédiaires ») de projets. La plupart des SSE peinent à obtenir des fonds suffisants auprès des banques commerciales en raison de la faiblesse de leur bilan et des risques apparemment plus élevés que présentent les prêts liés aux recettes tirées des économies d'énergie. Par leurs politiques, leurs financements et leur soutien technique, les pouvoirs publics et les banques internationales de développement peuvent renforcer les SSE et systématiser leur modèle d'activité. En Chine, par exemple, après une décennie de renforcement des capacités appuyé par la Banque mondiale, le secteur des SSE est passé de trois entreprises en 1997 à plus de 400 sociétés qui représentaient un milliard de dollars de contrats de performance énergétique en 2007⁸⁰.

Mécanismes de financement

Le développement et l'exploitation de services d'efficacité énergétique à des fins d'investissement dans l'efficacité énergétique sont avant tout une question institutionnelle. Le manque de ressources nationales est rarement un problème, mais les carences des systèmes organisationnels et institutionnels nécessaires au développement des projets et à l'obtention de fonds peuvent entraver les financements. Les trois principaux mécanismes de financement des projets d'efficacité énergétique sont les SSE, les programmes de gestion de la demande de services énergétiques, et les mécanismes de financement d'institutions spécialisées sous forme de

ENCADRÉ 4.12 *Il est difficile de comparer les coûts des technologies énergétiques : une question d'hypothèses*

Il est malaisé de comparer les coûts des technologies énergétiques. On utilise fréquemment une méthode basée sur le coût par kilowattheure (kWh) pour comparer les technologies de production d'électricité. La méthode des coûts normalisés de l'énergie sert souvent à comparer, sur la durée de la vie utile, les coûts économiques des énergies de substitution qui fournissent les mêmes services énergétiques. On commence par calculer les coûts d'investissement à l'aide d'une simple méthode de taux de récupération du capital^a. Cette technique consiste à diviser les coûts d'investissement en une série de paiements égaux – le coût annualisé des investissements – sur la durée de vie de l'équipement. Ensuite, le coût annualisé du capital est ajouté aux coûts annuels d'exploitation et d'entretien et aux coûts des combustibles pour obtenir les coûts moyens normalisés. Autrement dit, les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et d'entretien, les coûts des combustibles, le taux d'actualisation et le coefficient d'utilisation de la capacité sont des éléments essentiels du calcul des coûts moyens normalisés.

En réalité, les coûts sont fonction de facteurs liés aux délais et à la localisation des installations. Les coûts des énergies renouvelables sont étroitement liés aux ressources et aux sites locaux. Le coût de l'énergie éolienne, par exemple, varie énormément selon les ressources en vent des sites concernés. Le coût de la main-d'œuvre et les délais de réalisation sont aussi des facteurs essentiels, notamment en ce qui concerne les centrales à combustibles fossiles et les centrales nucléaires. Le coût des centrales électriques au charbon chinoises, par exemple, équivaut à environ le tiers ou la moitié du prix de ce type d'installations au plan international. Aux États-Unis, les délais de construction de centrales nucléaires sont une des causes du

coût élevé de ces installations.

Deuxièmement, une évaluation comparative intégrée rationnelle de diverses technologies énergétiques donne lieu à la comparaison de l'ensemble des caractéristiques économiques durant le cycle du carburant primaire pour une unité d'avantages énergétiques. La comparaison du coût de l'énergie renouvelable avec le coût de l'énergie tirée des combustibles fossiles et du nucléaire doit tenir compte des services fournis respectivement par ces divers types d'énergie (assurance de la charge de base ou production intermittente). D'un côté, les installations solaires et éoliennes produisent une énergie variable, même si la production peut être renforcée de diverses manières, généralement avec un surcoût. D'un autre côté, ces installations peuvent être homologuées et construites beaucoup plus rapidement que les grandes centrales nucléaires ou à combustibles fossiles. Troisièmement, il convient de tenir compte d'externalités, telles que les coûts environnementaux et la valeur procurée par la diversification des portefeuilles, dans la comparaison du coût de l'énergie tirée de combustibles fossiles et du coût des énergies propres. La tarification du carbone fera une grande différence en relevant les coûts des combustibles fossiles. La volatilité des prix de ces combustibles crée des externalités négatives supplémentaires. Une augmentation de 20 % des prix des combustibles entraîne une hausse des coûts de production d'énergie de 16 % dans le cas du gaz et de 6 % pour le charbon, mais n'influe quasiment pas sur les énergies renouvelables. Les sources d'énergie renouvelable fournissent de la valeur du point de vue de la diversification des portefeuilles, car elles constituent une protection contre l'instabilité des prix et de l'offre de combustibles fossiles. L'inclusion

de la valeur de diversification du portefeuille dans l'évaluation des énergies renouvelables accroît l'attrait de celles-ci^b. Lorsque l'on traite de nouvelles technologies, il faut aussi prendre en compte les possibilités de réduction des coûts. L'analyse dynamique des coûts futurs des nouvelles technologies est fonction des hypothèses relatives au rythme d'apprentissage — les réductions de coûts liées au doublement de la capacité. Le coût de l'énergie éolienne a chuté de près de 80 % au cours des 20 dernières années. Les innovations technologiques et les économies d'échelle peuvent entraîner des baisses de coûts plus rapides, ce qui, selon certains experts, conduira à une forte diminution à brève échéance des prix de l'énergie photovoltaïque^c.

S'agissant de l'analyse financière, les différences existant au plan institutionnel (financements publics ou privés) et au niveau des politiques publiques (impôts et réglementations) jouent souvent un rôle décisif. Les différences relatives aux coûts de financements sont particulièrement importantes dans le cas des technologies à forte intensité de capital, telles que les énergies éolienne, solaire et nucléaire. Selon une étude californienne, le coût d'une centrale éolienne varie beaucoup plus que celui d'une centrale à cycle combiné au gaz, les conditions de financement étant différentes selon qu'il s'agit d'entreprises de services appartenant au secteur privé (sociétés privées ou sociétés par actions) ou au secteur public^d.

Sources :

- Taux de récupération du capital = $[i(1+i)^n]/[(1+i)^n - 1]$, où i désigne le taux d'actualisation et n la durée de vie ou la période de recouvrement du capital de ces systèmes.
- Forum économique mondial 2009.
- Deutsche Bank Advisors 2008 (projections de la réduction du coût de l'énergie photovoltaïque).
- California Energy Commission 2007b.

prêts et de garanties partielles de prêts gérés par l'intermédiaire de banques commerciales ou sous forme de fonds renouvelables⁸¹.

Les prêts réalisés par l'intermédiaire de banques commerciales locales sont le meilleur moyen d'assurer la viabilité des programmes et d'obtenir le maximum de résultats. Les institutions financières internationales ont appuyé des programmes de garanties partielles de risque visant

à atténuer les risques des projets d'efficacité énergétique auxquels sont confrontées les banques commerciales, ce qui a contribué à les encourager à financer des projets d'amélioration des rendements énergétiques (encadré 4.11). Les fonds renouvelables d'affectation spéciale spécialisés sont une autre méthode fréquemment utilisée, notamment dans les pays où l'investissement dans le domaine de la maîtrise de l'énergie en est à ses débuts et où les banques ne sont pas

ENCADRÉ 4.13 *Le Danemark assure sa croissance économique tout en réduisant ses émissions*

De 1990 à 2006, le PIB du Danemark a progressé d'environ 2,3 % par an, chiffre supérieur à la moyenne européenne (2 %). Dans le même temps, le Danemark a réduit ses émissions de CO₂ de 5 %.

L'adoption de politiques judicieuses a permis de découpler les émissions et la croissance. Le Danemark, comme d'autres pays scandinaves, a appliqué la première taxe au monde sur les émissions de CO₂ provenant de combustibles fossiles au début des années 90. Dans le même temps, le pays a adopté une série de mesures pour promouvoir l'utilisation d'énergie durable. Aujourd'hui, environ 25 % de la production d'électricité du Danemark et 15 % de sa consommation d'énergie primaire proviennent d'énergies renouvelables, principalement l'éolien et la biomasse ; l'objectif est de porter

la part des énergies renouvelables à au moins 30 % d'ici à 2025. Le pays, en outre, tire une souplesse additionnelle de sa participation au réseau d'interconnexion nordique (alimenté pour plus de 50 % par l'énergie hydroélectrique), qui lui permet d'exporter son excédent d'énergie éolienne et d'importer de l'hydroélectricité norvégienne pendant les périodes où les ressources éoliennes font défaut. Vestas, la grande société éolienne danoise, compte 15 000 employés et représente le quart du marché mondial des turbines éoliennes.

En 15 ans, les exportations danoises de technologies renouvelables se sont envolées pour atteindre 10,5 milliards de dollars.

Outre la faible intensité en carbone de son énergie, le Danemark est le pays européen qui présente le plus faible degré

d'intensité énergétique, grâce, d'une part, à l'application de normes de rendement très exigeantes pour les constructions et les appareils, d'autre part à des accords d'économie d'énergie librement acceptés dans l'industrie. Les réseaux de chauffage urbain alliant chaleur et électricité fournissent 60 % du chauffage hivernal du pays, dont 80 % proviennent de la chaleur qui, dans le passé, était gaspillée pendant la production d'électricité.

Sources : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde à partir de WRI 2008 ; fiche d'information sur le bouquet énergétique danois (Denmark Energy Mix Fact Sheet), http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/mix/mix_dk_en.pdf (consulté le 27 août 2009).

prêtes à fournir des financements⁸². Cette démarche est de nature transitoire, et sa viabilité est un problème majeur.

La gestion de la demande par les services d'utilité collective est généralement financée par un fonds de contribution aux avantages du système (alimenté par une surtaxe sur les kilowattheures perçue auprès de tous les usagers), source de financement plus viable que les budgets publics. Administrés soit par les services d'utilité collective, soit par des organismes de promotion de la maîtrise de l'énergie, les fonds de ce type couvrent le surcoût du passage des combustibles fossiles aux énergies renouvelables, les rabais accordés aux consommateurs, les prêts concessionnels, la recherche et le développement, l'éducation des usagers et l'assistance aux consommateurs à faible revenu.

Passation de marchés publics

Les commandes à grande échelle de produits à haut rendement énergétique peuvent réduire sensiblement les coûts, permettre de passer de gros contrats, d'obtenir d'importants financements bancaires et alléger les coûts de transaction. En Ouganda et au Viet Nam, l'achat en gros d'un million de lampes fluorescentes compactes a abaissé fortement le coût des lampes et amélioré la qualité des produits grâce à l'imposition de spécifications techniques et à l'obligation de garantie ; une fois installées, ces lampes ont entraîné une baisse de la demande de pointe de 30 mégawatts⁸³. La passation de marchés publics par l'intermédiaire d'organismes d'État, qui figurent généralement parmi les principaux consommateurs d'énergie, peut abaisser les coûts, démontrer l'engagement des pouvoirs publics en faveur de

l'efficacité énergétique et témoigner de leur détermination à montrer la voie dans ce domaine. Il faut toutefois que les mandats aient été définis et que des incitations et des règles régissant les questions de budget et de passation des marchés soient en place⁸⁴.

Éducation des consommateurs

L'éducation des consommateurs peut aider ceux-ci à modifier leurs modes de vie et à faire des choix en toute connaissance de cause : étiquetage des produits selon leur rendement énergétique ; installation accrue de compteurs d'électricité et de chaleur, notamment de compteurs intelligents, etc. Les campagnes de sensibilisation des consommateurs sont particulièrement efficaces lorsqu'elles s'accompagnent d'une réglementation et d'incitations financières. L'expérience acquise en matière de santé publique indique que les interventions visant à modifier les comportements doivent se faire à plusieurs niveaux : dans le domaine des politiques et de l'environnement physique (conception de villes que l'on peut parcourir à pied et construction de bâtiments verts), ainsi qu'au plan socioculturel (communication par les médias), interpersonnel (contacts face-à-face) et individuel (voir chapitre 8)⁸⁵.

Utiliser plus largement les technologies à faible intensité de carbone existantes

L'énergie renouvelable pourrait contribuer à hauteur d'environ 50 % au bouquet énergétique d'ici à 2050⁸⁶. Grâce à la diminution de leur coût durant les 20 dernières années,

ENCADRÉ 4.14 *Lois sur le rachat d'électricité, concessions, crédits d'impôt et normes de portefeuille d'énergies renouvelables en Allemagne, en Chine et aux États-Unis*

Les pays en développement représentent 40 % de la capacité mondiale d'énergie renouvelable. En 2007, 60 pays, dont 23 pays en développement, avaient adopté des politiques d'énergie renouvelable^a. L'Allemagne, la Chine et les États-Unis sont les trois pays qui possèdent la plus grande quantité de puissance installée dans le domaine de l'énergie renouvelable.

Allemagne : lois sur le rachat d'électricité

Au début des années 90, l'Allemagne ne possédait quasiment aucune entreprise d'énergie renouvelable. Aujourd'hui, elle fait partie des leaders mondiaux : son secteur des énergies renouvelables brasse des milliards de dollars et a créé 250 000 nouveaux emplois^b. En 1990, le pays a adopté une loi sur le rachat d'électricité qui exige des services d'utilité collective qu'ils achètent à prix fixe l'électricité produite à partir de toute forme d'énergie renouvelable. En 2000, la loi sur l'énergie renouvelable a fixé les tarifs de rachat d'électricité pour diverses technologies d'énergies renouvelables sur une période de 20 ans en se basant sur leurs coûts de production d'électricité et leur capacité de production. Pour encourager la réduction des coûts et les innovations, il est prévu que les prix diminuent au fil des années selon une formule préétablie. La loi, en outre, répartit le surcoût de l'énergie éolienne par rapport aux énergies

classiques sur l'ensemble des usagers des services d'utilité collective du pays^c.

Chine : loi sur l'énergie renouvelable et concessions éoliennes

La Chine a été l'un des premiers pays en développement à adopter une loi sur l'énergie renouvelable. Elle possède aujourd'hui la plus importante capacité de production d'énergie renouvelable au monde, dont elle tire 8 % de son énergie et 17 % de son électricité^d. La loi fixe le prix du rachat de l'énergie provenant de la biomasse, tandis qu'un système de concession établit les tarifs en matière d'énergie éolienne. Les pouvoirs publics ont créé des concessions éoliennes en 2003 afin d'encourager le développement de la capacité de production et d'abaisser les coûts. Les soumissions retenues durant les phases initiales ont été inférieures aux coûts moyens et ont eu un effet désincitatif sur les promoteurs et fabricants locaux du secteur éolien. L'amélioration du système de concession et la mise en place de tarifs de rachat d'électricité au niveau provincial ont permis à la Chine de se placer, en 2008, au deuxième rang mondial pour ce qui est de la puissance éolienne nouvellement installée. Il est probable que l'objectif de 30 gigawatts d'électricité éolienne fixé par l'État pour l'horizon 2020 sera atteint plus tôt que prévu. Les pouvoirs publics ont stimulé l'industrie manufacturière éolienne

du pays en exigeant que la capacité se compose à 70 % d'éléments d'origine locale et en adoptant de nouveaux modèles de transfert de technologie pour recruter et acquérir des instituts internationaux de création technique.

États-Unis : crédits d'impôt fédéraux en faveur de la production et normes relatives aux portefeuilles d'énergies renouvelables des États fédérés

Un crédit d'impôt fédéral en faveur de la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables a contribué à un accroissement sensible de la puissance installée, mais l'incertitude qui pèse sur le maintien de ce dispositif d'une année à l'autre a provoqué une alternance de forte expansion et de ralentissement dans le développement de l'énergie éolienne aux États-Unis. Par ailleurs, 25 États appliquent des normes relatives aux portefeuilles d'énergies renouvelables. En conséquence, l'énergie éolienne représentait 35 % de la nouvelle capacité de production d'énergie en 2007 et les États-Unis possèdent aujourd'hui la plus grande puissance éolienne installée au monde^e.

Sources :

- a. REN 21 2008.
- b. Ministère fédéral de l'environnement 2008.
- c. Beck et Martinot 2004.
- d. REN 21 2008.
- e. Wiser et Bolinger 2008.

les énergies éolienne, géothermique et hydroélectrique sont devenues concurrentielles avec les combustibles fossiles en termes de coûts ou sont près de l'être⁸⁷. Le solaire est encore coûteux, mais son prix devrait baisser rapidement au cours des prochaines années à mesure que l'expérience s'accroît (encadré 4.12). Sous l'effet de la hausse des prix des combustibles fossiles, l'écart de coût se rétrécit. La biomasse, l'énergie géothermique et l'énergie hydroélectrique sont capables d'assurer la charge de base, alors que la production des installations solaires et éoliennes est intermittente.

Si les sources de génération d'électricité intermittente occupent une place importante dans le réseau électrique, la fiabilité de l'approvisionnement peut s'en ressentir, mais il est possible d'atténuer ce problème de plusieurs manières : stockage de l'énergie hydraulique ou accumulation par pompage, gestion de la puissance appelée, installations de stockage d'énergie, interconnexions avec d'autres pays

et réseaux électriques intelligents⁸⁸. Ces derniers peuvent accroître le niveau de fiabilité lorsqu'ils intègrent les énergies renouvelables et la production décentralisée. Les lignes à courant continu et à haute tension peuvent permettre le transport d'électricité sur de longues distances avec de faibles pertes en lignes, ce qui atténue le fréquent problème de l'éloignement des sources d'énergie renouvelable par rapport aux centres de consommation. Par ailleurs, l'utilisation à grande échelle des énergies solaire et éolienne et des véhicules électriques nécessitera des réductions de coûts supplémentaires ainsi qu'une amélioration des performances des techniques de stockage de l'énergie. S'il est vrai qu'il est nécessaire d'accroître dans une mesure considérable l'utilisation des énergies renouvelables, l'objectif est réalisable. Au Danemark, par exemple, l'énergie éolienne représente 20 % de la production d'énergie (encadré 4.13).

Stratégies de promotion des énergies renouvelables : réglementation et incitations financières

Les pratiques de tarification transparentes, concurrentielles et stables, reposant sur des contrats d'achat d'électricité à long terme, ont permis d'attirer les investisseurs vers les énergies renouvelables, et la mise en place d'un cadre juridique et réglementaire propice peut assurer aux producteurs d'électricité indépendants un accès équitable et libre aux réseaux. Deux grandes stratégies de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable à caractère obligatoire sont suivies dans le monde : l'adoption de lois sur le rachat d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables, qui imposent un prix fixe, et l'application de normes de portefeuilles d'énergies renouvelables, qui exigent qu'un certain pourcentage de l'électricité produite provienne de sources renouvelables (encadré 4.14)⁸⁹.

Les lois sur le rachat d'électricité prévoient l'achat obligatoire d'énergie renouvelable à prix fixe. Ce type de législation, en vigueur par exemple en Allemagne, en Espagne, au Kenya et en Afrique du Sud, produit les taux de pénétration du marché les plus élevés et ce, en peu de temps. Les investisseurs prisent ces lois en raison du degré élevé de certitude qu'elles impliquent en matière de prix et de leur simplicité administrative, mais aussi parce qu'elles sont propices à la création d'industries manufacturières locales. Trois critères sont fréquemment utilisés pour fixer les tarifs de rachat d'électricité : les coûts de production d'énergie classique qui sont évités, les coûts de l'énergie renouvelable majorés de rendements raisonnables et les prix de détail moyens (le système de comptage net permet aux usagers de revendre au réseau l'excédent d'électricité produit à partir de leur domicile ou de leur entreprise, généralement à l'aide d'installations solaires photovoltaïques, aux prix de détail du marché). Le principal risque est de fixer les prix à un niveau trop élevé ou trop faible – d'où la nécessité d'ajuster périodiquement les tarifs.

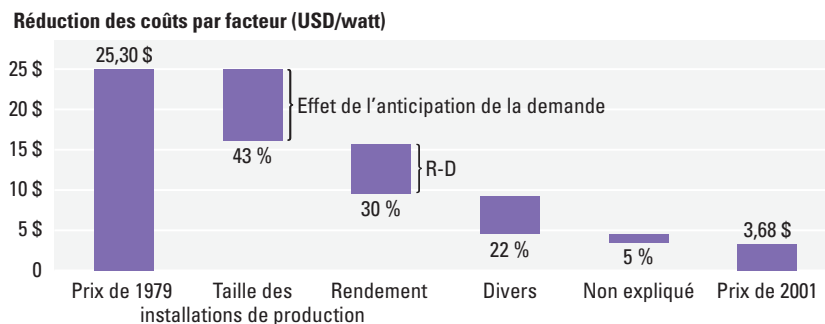
Les normes de portefeuilles d'énergies renouvelables exigent des services d'utilité collective d'une région donnée qu'ils fassent en sorte que les énergies renouvelables soient

à l'origine d'un pourcentage minimum de la production d'électricité ou représentent un certain niveau de puissance installée, comme c'est le cas dans de nombreux États des États-Unis, au Royaume-Uni et dans les États d'Inde. Les services d'utilité collective atteignent leurs cibles grâce à leur propre production d'énergie, à l'achat d'électricité à d'autres producteurs, aux ventes directes de tiers à leurs clients ou à l'achat de certificats négociables d'énergie renouvelable. Toutefois, à moins que l'on fixe des cibles technologiques distinctes ou que l'on procède par appels d'offres, le système des normes de portefeuille d'énergies renouvelables souffre de l'incertitude qui caractérise les prix et tend à favoriser les acteurs établis du secteur ainsi que les technologies les moins coûteuses⁹⁰. Ces normes, en outre, sont plus difficiles à concevoir et administrer que les lois sur le rachat d'électricité.

L'appel d'offres est une autre façon d'atteindre les objectifs fixés en matière d'énergies renouvelables : les producteurs d'énergie soumettent des offres concernant la fourniture d'une quantité déterminée d'énergie renouvelable, et le marché est attribué au soumissionnaire le moins disant – comme cela se fait en Chine et en Irlande. L'appel d'offres permet de réduire les coûts, mais présente un risque majeur : certains soumissionnaires proposent des prix excessivement bas et ne concrétisent pas leurs engagements par des projets réels sur le terrain.

Plusieurs types d'incitations financières permettent d'encourager les investissements dans les énergies renouvelables : les subventions visant à réduire le coût des investissements initiaux ; les crédits d'impôt au titre de l'investissement ou de la production destinés à abaisser les coûts d'investissement et d'exploitation ; l'amélioration des sources de revenus par le biais de crédits d'émissions de carbone ; un soutien financier sous la forme de garanties et de prêts concessionnels. S'agissant de la production d'électricité d'origine renouvelable raccordée au réseau, les incitations basées sur la production sont généralement préférables aux incitations axées sur les investissements⁹¹. Les incitations basées sur l'investissement par kilowatt de puissance

Graphique 4.12 Le coût de l'électricité photovoltaïque solaire diminue progressivement grâce à la R-D et sous l'effet d'une demande plus élevée que prévu qui encourage une production à plus grande échelle



Source : Basé sur Nemet 2006.

Note : Les réductions de coûts sont exprimées en dollars de 2002. Les colonnes indiquent le pourcentage de la réduction du coût de l'électricité photovoltaïque solaire entre 1979 et 2001, en imputant la part de la réduction due à différents facteurs tels que la taille des installations de production (qui est déterminée par la demande escomptée) et l'amélioration des rendements (qui résulte des innovations générées par la R-D). La catégorie « divers » recouvre la baisse du prix du silicium, qui est un intrant essentiel (12 %), et un certain nombre de facteurs beaucoup moins importants (notamment la diminution des quantités de silicium nécessaires pour obtenir une certaine quantité d'énergie, et la baisse des taux de rejet des produits par suite d'erreurs de fabrication).

ENCADRÉ 4.15 Énergie solaire concentrée au Moyen-Orient et en Afrique du Nord

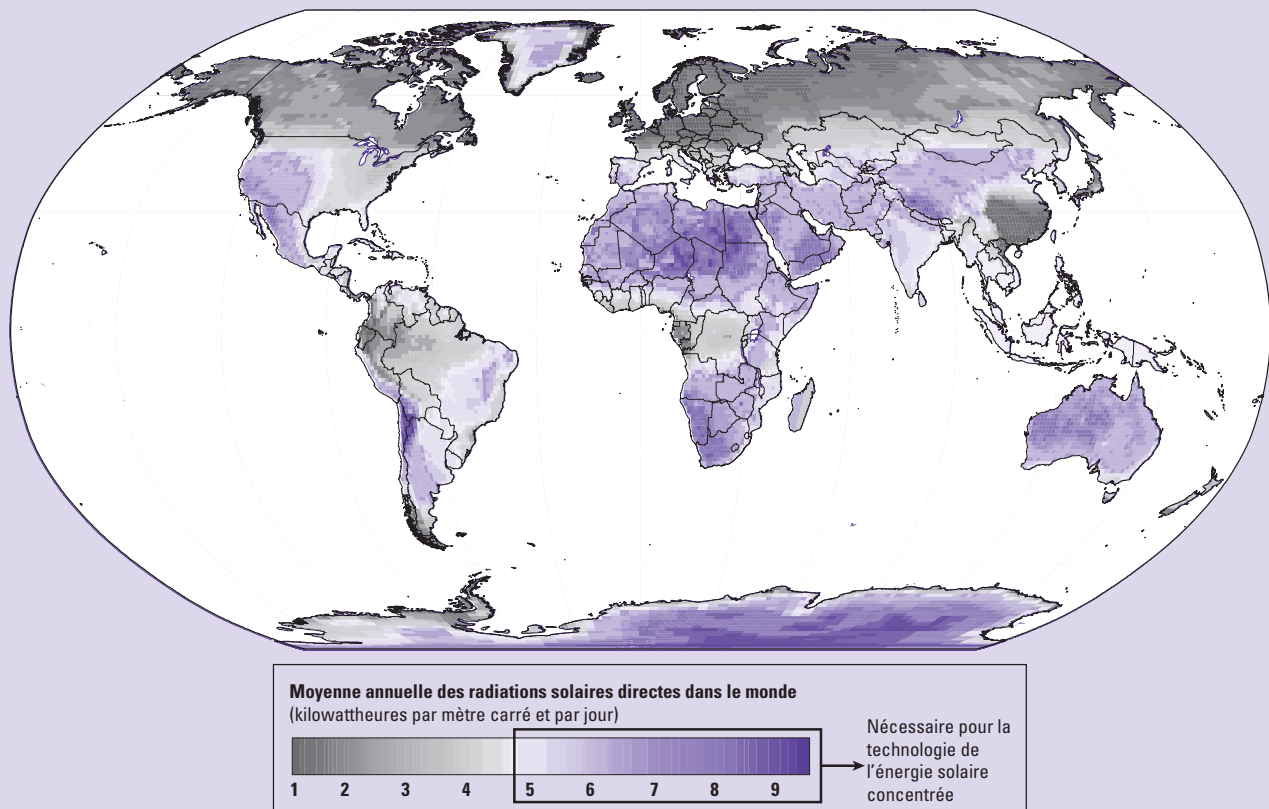
Le Plan solaire méditerranéen vise à installer une puissance de 20 gigawatts d'énergie solaire concentrée, ainsi que d'autres capacités de production d'énergie renouvelable, d'ici à 2020 pour à la fois répondre aux besoins énergétiques des pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord et exporter de l'électricité en Europe. Cet ambitieux programme pourrait abaisser suffisamment le coût de l'énergie solaire concentrée pour la rendre concurrentielle par rapport aux combustibles fossiles. L'installation de capacités de production d'énergie solaire concentrée sur moins de 1 % de la superficie du désert du Sahara (voir carte ci-dessous) permettrait de couvrir la totalité des besoins de l'Europe en électricité. Le financement de cette initiative est une tâche ardue, mais offre aussi une

excellente occasion de mettre en place un partenariat entre pays développés et en développement en vue d'exploiter les énergies renouvelables à une plus grande échelle au profit tant de l'Europe que de l'Afrique du Nord. Premièrement, la demande d'électricité verte et les tarifs attractifs pratiqués en Europe pour le rachat d'électricité produite à partir de sources renouvelables peuvent améliorer sensiblement la viabilité financière de l'énergie solaire. Deuxièmement, le programme nécessite la participation de fonds bilatéraux et multilatéraux – tels que le Fonds pour l'environnement mondial, le Fonds pour les technologies propres et les crédits carbone – pour appuyer les subventions aux investissements, les financements

concessionnels et des mesures de nature à accroître les recettes, afin de couvrir les surcoûts engendrés par l'énergie solaire concentrée, notamment en ce qui concerne la part de cette énergie qui servira à répondre aux besoins des marchés intérieurs du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord. Troisièmement, la réussite du programme exige aussi que les pouvoirs publics de la région prennent des mesures pour mettre en place un environnement propice aux énergies renouvelables et éliminer les subventions en faveur de combustibles fossiles.

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

Radiations solaires normales directes dans le monde (kilowattheures par mètre carré et par jour)



Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement, Évaluation des sources d'énergie solaire et éolienne, <http://swera.unep.net/index.php?id=metainfo&rowid=277&metaid=386> (consulté le 21 juillet 2009).

installée ne stimulent pas nécessairement la production d'électricité, ni la performance des centrales. En revanche, les incitations axées sur la production par kilowattheure de puissance produite favorisent l'obtention du résultat recherché : produire de l'électricité à partir d'énergies renouvelables. Le surcoût de l'énergie renouvelable par rapport aux combustibles fossiles peut être répercuté sur les usagers ou financé par un mécanisme de contribution aux avantages du système, une taxe sur les émissions de CO₂ dues à l'utilisation de combustibles fossiles ou un fonds spécialisé alimenté par les budgets publics ou les bailleurs de fonds.

Énergie nucléaire et gaz naturel

L'énergie nucléaire est une option importante pour l'atténuation du changement climatique, mais elle pose quatre problèmes : un coût plus élevé que celui des centrales au charbon⁹², le risque de prolifération des armes nucléaires, les incertitudes pesant sur la gestion des déchets, et l'inquiétude du public au sujet de la sécurité des réacteurs. Les mesures de contrôle en vigueur dans le monde ne sont pas à la hauteur des problèmes de sécurité posés par le développement de l'énergie nucléaire⁹³. La prochaine génération de réacteurs nucléaires se caractérise toutefois par une sécurité et une rentabilité économique accrues par rapport aux réacteurs en activité.

Les installations nucléaires exigent d'importants capitaux et une main-d'œuvre très qualifiée. En raison du temps nécessaire à leur mise en service, elles peuvent difficilement contribuer à la réduction des émissions de CO₂ dans un avenir proche. La planification, l'homologation et la construction d'une centrale nucléaire prennent en général au moins dix ans. En outre, les commandes ayant été rares durant les dernières décennies, le monde ne dispose que de capacités limitées pour fabriquer bon nombre de composants essentiels des usines nucléaires, et il faudra dix ans ou plus pour reconstituer cette capacité⁹⁴.

Le gaz naturel est le combustible fossile qui présente la plus faible intensité de carbone dans le cadre de la production d'électricité et de l'utilisation résidentielle et industrielle. Le remplacement du charbon par le gaz naturel offre d'importantes possibilités de réduire les émissions de CO₂ à court terme. Selon certains scénarios d'un réchauffement de 2 °C, la part du gaz naturel dans le bouquet d'énergies primaires passera de 21 % à l'heure actuelle à 27-37 % d'ici à 2050⁹⁵. Le coût de l'énergie tirée du gaz naturel varie toutefois en fonction du prix du gaz, très instable ces dernières années. Par ailleurs, comme dans le cas du pétrole, plus de 70 % des réserves mondiales de gaz se situent au Moyen-Orient et en Eurasie. La sécurité de l'approvisionnement en gaz est un sujet de préoccupation pour les pays importateurs. En conséquence, la diversification énergétique et l'inquiétude suscitée par la sécurité de l'approvisionnement pourraient limiter la part du gaz naturel dans le bouquet énergétique

mondial à un niveau inférieur à celui qui est indiqué dans certains modèles climat-énergie⁹⁶.

Accélérer l'innovation et le développement de technologies de pointe

L'accélération de l'innovation et du développement de technologies de pointe passe par une tarification adéquate du carbone, des investissements massifs dans la recherche, le développement et les activités de démonstration, et un effort inédit de coopération mondiale (voir chapitre 7). Il est essentiel de stimuler à la fois la poussée technologique (en renforçant la recherche et le développement, par exemple) et la demande (afin d'accroître les économies d'échelle) pour réduire sensiblement le coût des technologies de pointe (graphique 4.12).

Les technologies de production d'énergie à grande échelle demandent des stratégies et des démarches différentes de celles qui s'appliquent aux technologies à échelle réduite. Il sera sans doute nécessaire de mettre en œuvre un programme international similaire au projet Manhattan pour développer des technologies telles que le piégeage et stockage de CO₂ produit par les centrales électriques à une échelle suffisamment grande pour réaliser d'importantes réductions de coûts à mesure que la technologie suivra sa courbe d'apprentissage. Les promoteurs – services d'utilité collective ou producteurs d'électricité indépendants – disposent généralement de ressources et de capacités suffisantes. Pour autant, l'obstacle des coûts d'investissement élevés ne pourra pas être surmonté sans une tarification adéquate du carbone et le subventionnement des investissements. En ce qui concerne les technologies propres utilisées de façon décentralisée et à plus petite échelle, il faudra en revanche laisser « éclore un millier de fleurs » en répondant aux besoins de nombreux petits intervenants locaux par le biais de capitaux de lancement, de capital-risque et, dans les pays en développement, de services de conseil portant sur le développement des entreprises.

Pour que le scénario d'un réchauffement de 2 °C soit réalisable, les pays en développement doivent emprunter une trajectoire technologique différente. Selon les projections, la croissance de l'énergie et des émissions proviendra en grande partie des pays en développement, mais les pays développés attirent beaucoup plus d'investissements dans les technologies propres. Traditionnellement, les nouvelles technologies sont d'abord produites dans les pays développés, puis commercialisées dans le monde en développement, comme ce fut le cas pour l'énergie éolienne⁹⁷. Pour que les émissions plafonnent dans dix ans et que le monde se maintienne sur une trajectoire à 2 °C, il faut que les pays développés et en développement mettent en place simultanément, dès aujourd'hui, de grands projets de démonstration des technologies de pointe. C'est fort heureusement ce qui se passe sous l'effet de l'intensification rapide de la

recherche et du développement au Brésil, en Chine, en Inde, et dans quelques autres pays en développement leaders dans le domaine technologique. Les fabricants de piles photovoltaïques, de matériel d'éclairage à haut rendement et d'éthanol dont les coûts sont les plus faibles se trouvent tous dans les pays en développement.

Un des principaux obstacles auxquels se heurtent les pays en développement est le surcoût engendré par le développement et la démonstration de technologies de pointe propres. Il est essentiel que les pays développés accroissent sensiblement leur aide financière et leurs transferts de technologies à faible intensité de carbone aux pays en développement par le biais de mécanismes tels qu'un fonds technologique mondial. Par ailleurs, les pays développés devront prendre aussi l'initiative pour faciliter le progrès technologique (voir chapitre 7). Le Plan solaire méditerranéen est un exemple de coopération entre pays développés et en développement pour la génération d'électricité solaire concentrée et la poursuite d'activités de démonstration à grande échelle dans ce domaine (encadré 4.15).

Il faut intégrer les stratégies

Il convient de coordonner et d'intégrer les instruments d'intervention pour qu'ils se complètent et pour prévenir les conflits. La réduction des émissions dans les transports, par exemple, exige une démarche intégrée en trois temps dont les composantes sont, par ordre de difficulté, les suivantes : la transformation des véhicules (véhicules économes en carburant, véhicules hybrides rechargeables et voitures électriques), la transformation des carburants (fabrication d'éthanol à partir de canne à sucre, seconde génération de biocarburants et hydrogène) et la transformation des besoins et modes de transports (planification urbaine et transports publics)⁹⁸. Les stratégies relatives aux biocarburants doivent viser à coordonner les politiques énergétiques et les politiques de transport avec l'action publique dans les domaines de l'agriculture, de la foresterie et de l'affectation des terres afin de gérer les demandes concurrentes en eau et en terres (voir chapitre 3). Si les cultures énergétiques réduisent la quantité de terres disponibles pour l'agriculture dans les pays pauvres, le « remède » peut être pire que le « mal » dans le sens où les mesures d'atténuation risquent

d'aggraver la vulnérabilité aux effets du changement climatique⁹⁹. Le déploiement des voitures hybrides rechargeables et des véhicules électriques sur une grande échelle accroîtrait considérablement la demande d'électricité, ce qui pourrait compromettre les réductions d'émissions attendues de la technologie si la part des énergies à faible intensité de carbone dans l'approvisionnement du réseau n'est pas accrue. Si elles ne sont pas conçues de façon judicieuse, les mesures de promotion de l'énergie renouvelable peuvent décourager la production efficace de chaleur dans le cadre de la cogénération.

Il convient aussi d'harmoniser les politiques, les stratégies et les mécanismes institutionnels entre les secteurs. Il est généralement difficile de mettre en œuvre des initiatives multisectorielles en raison du caractère fragmenté des mécanismes institutionnels et de la faiblesse des incitations. Il est essentiel de trouver un « champion » capable de promouvoir les programmes d'action ; par exemple, les administrations locales peuvent servir de point d'ancrage pour la mise en œuvre de mesures visant à réduire les émissions dans les villes, notamment au niveau des bâtiments et par le biais du passage à des modes de transport différents. Il est important aussi d'harmoniser les politiques et les stratégies au niveau des administrations nationales, provinciales et locales (voir chapitre 8).

En conclusion, les technologies à faible intensité de carbone et l'action des pouvoirs publics peuvent placer le monde sur la trajectoire d'un réchauffement de 2 °C, mais il est nécessaire de procéder à des transformations radicales pour décarburer le secteur énergétique. Pour cela, il faut des mesures immédiates, une coopération mondiale et l'engagement des pays développés et en développement. Les pouvoirs publics peuvent mettre en œuvre dès aujourd'hui des politiques qui leur permettent de gagner sur tous les fronts, par exemple en procédant à des réformes réglementaires et institutionnelles et en mettant en place des incitations financières et des mécanismes de financement pour stimuler l'utilisation des technologies à faible intensité de carbone existantes, notamment dans les domaines des rendements énergétiques et de l'énergie renouvelable.

Il est essentiel d'adopter une tarification adéquate du carbone et d'encourager l'innovation technologique pour

« Si rien n'est fait, nous allons perdre notre planète bien-aimée. Nous devons tous ensemble trouver des solutions « non égoïstes » et rapides avant qu'il ne soit trop tard pour réparer les dégâts causés chaque jour ».

— Maria Kassabian, Nigéria, 10 ans



accélérer le développement et le déploiement de technologies de pointe à faible intensité de carbone. Les pays développés doivent prendre les devants et démontrer qu'ils sont déterminés à effectuer eux-mêmes d'importants changements, tout en mettant des financements et des technologies émettant peu de carbone à la disposition des pays en développement. Ces derniers doivent adopter des modèles de développement radicalement nouveaux, intelligents sur le plan climatique. Les moyens techniques et économiques nécessaires à ces mutations existent, mais la concrétisation des changements exige une grande détermination de la part des pouvoirs publics et une coopération sans précédent au plan mondial.

Notes

1 GIEC 2007.

2 Estimations des auteurs ; Socolow 2006. Les estimations sont basées sur une consommation mensuelle d'électricité de 100 kilowattheures par ménage pauvre composé en moyenne de sept personnes, soit une consommation de 170 kilowattheures par personne et par an. L'électricité est générée avec une intensité de carbone (moyenne mondiale) de 590 grammes de CO₂ par kilowattheure pour 1,6 milliard de personnes, soit l'équivalent de 160 millions de tonnes de CO₂. Socolow (2006) pose en hypothèse que la fourniture de 35 kilogrammes de combustibles propres pour la cuisson des aliments (gaz de pétrole liquéfié) à 2,6 milliards de personnes entraînerait l'émission de 275 millions de tonnes de CO₂. En conséquence, 435 millions tonnes de CO₂ ne représentent que 2 % des émissions mondiales actuelles (26 000 millions de tonnes de CO₂).

3 Le carbone noir, produit par la combustion incomplète de matières fossiles, contribue au réchauffement climatique en absorbant de la chaleur dans l'atmosphère et, lorsqu'il se dépose sur la neige et la glace, en réduisant le pouvoir réfléchissant de ces éléments et en accélérant leur fonte. Contrairement au CO₂, le carbone noir ne reste que quelques jours ou quelques semaines dans l'atmosphère : la réduction de ce type d'émission aura presque immédiatement des effets d'atténuation. De surcroît, le carbone noir est un polluant atmosphérique majeur et une importante cause de maladie et de décès prématurés dans de nombreux pays en développement.

4 SEG 2007.

5 Wilbanks *et al.* 2008.

6 McKinsey & Company 2009b.

7 Ebinger *et al.* 2008.

8 La signification et l'importance de la sécurité énergétique varient d'un pays à l'autre selon le revenu, la consommation d'énergie, les ressources énergétiques et les partenaires commerciaux. Pour de nombreux pays, la dépendance à l'égard des importations de pétrole et de gaz naturel est une source de vulnérabilité économique et peut susciter des tensions internationales. Les pays les plus pauvres (ceux dont le revenu par habitant ne dépasse pas 300 dollars) sont particulièrement vulnérables aux fluctuations des prix des combustibles : chaque hausse de 10 dollars du prix du baril de pétrole entraîne en moyenne une diminution moyenne de 1,5 % du PIB (Banque mondiale 2009a).

9 Une augmentation de 20 % des prix des combustibles entraîne une hausse des coûts de production d'énergie de 16 % pour le gaz et

de 6 % pour le charbon, mais n'influe quasiment pas sur les énergies renouvelables ; voir Forum économique mondial 2009.

10 AIE 2008b.

11 WRI 2008 ; voir aussi la présentation des émissions passées dans l'abrégé.

12 AIE 2008c

13 GIEC 2007.

14 Nations Unies 2007.

15 AIE 2008b.

16 Chamon, Mauro et Okawa 2008.

17 Schipper 2007.

18 Lam et Tam 2002 ; 2000 U.S. Census, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_U.S._cities_with_most_households_without_a_car (Consulté en mai 2009).

19 Kenworthy 2003.

20 Le chauffage urbain est un système consistant à distribuer aux bâtiments résidentiels et commerciaux du chauffage produit de façon centralisée à partir d'installations efficaces de cogénération ou de grandes chaudières.

21 Il est possible d'atteindre un niveau d'émissions négatif grâce au piégeage du carbone dans des écosystèmes terrestres (par exemple en plantant des arbres). Un autre moyen consiste à appliquer les technologies de piégeage et de stockage du carbone à l'énergie produite à partir de la biomasse.

22 Avec une concentration de 450 ppm de gaz à effet de serre, la probabilité de maintenir le réchauffement de la planète à un niveau maximal de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles est de 40 à 50 %. Schaeffer *et al.* 2008 ; Hare et Meinshausen 2006.

23 Tans 2009.

24 Rao *et al.* 2008.

25 La biomasse tirée des plantes peut être un combustible neutre en carbone, car le carbone absorbé par les plantes dans l'atmosphère durant leur croissance est libéré lorsque ces plantes sont brûlées comme combustibles. Le piégeage et le stockage du carbone provenant de la biomasse peuvent produire d'importantes « émissions négatives » en capturant le carbone émis durant la combustion de la biomasse.

26 Weyant *et al.* 2009 ; Knopf *et al.*, à paraître ; Rao *et al.* 2008 ; Calvin *et al.*, à paraître.

27 German Advisory Council on Global Change 2008 ; Wise *et al.* 2009.

28 Ces cinq modèles (MESSAGE, MiniCAM, REMIND, IMAGE et ETP de l'AIE) sont les principaux modèles énergie-climat au plan mondial. Mis au point en Europe et aux États-Unis, ils mêlent de manière équilibrée des méthodes descendantes et ascendantes et diverses trajectoires d'atténuation. Le modèle MESSAGE, créé par l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA), utilise le système de modélisation MESSAGE, qui comprend, outre le modèle de gestion forestière DIMA et le cadre de modélisation agricole AEZ-BLS, le modèle d'optimisation technique des systèmes énergétiques MESSAGE et le modèle descendant d'équilibre macro-économique MACRO. Cette analyse examine des scénarios de type B2, car ils se situent entre les scénarios A2 (qui prévoit une forte croissance démographique) et B1 (scénario le plus favorable plausible permettant de réduire les émissions en l'absence de politiques climatiques énergétiques), que caractérise un rythme d'évolution conforme à une « dynamique de laisser-faire » (Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; Rao *et al.* 2008). Le modèle MiniCAM, élaboré par le Pacific

Northwest National Laboratory, allie un modèle mondial détaillé au plan technologique combinant énergie, économie, agriculture et utilisation des sols à un ensemble de modèles associés du cycle des gaz, du climat et de la fonte des glaces (Edmonds *et al.* 2008). Le modèle REMIND, développé au Potsdam Institute for Climate Impact Research, est un modèle de croissance optimale qui conjugue un modèle macroéconomique descendant et un modèle énergétique ascendant, et vise à maximiser le bien-être (Leimbach *et al.*, à paraître). Le modèle IMAGE, créé par la Netherlands Environmental Assessment Agency, est un modèle d'évaluation intégré qui associe le modèle énergétique TIMER 2 et le modèle de politique climatique FAIR-SiMcaP (Bouwman, Kram et Goldewijk 2006). Le cinquième modèle est le modèle Energy Technology Perspective de l'AIE, un modèle d'optimisation de programmation linéaire basé sur le modèle énergétique MARKAL (AIE 2008b).

29 Les coûts d'atténuation comprennent les dépenses d'investissement supplémentaire, les coûts d'exploitation et d'entretien et les coûts de combustibles, comparés aux valeurs de référence. Rao *et al.* 2008 ; Knopf *et al.*, à paraître ; Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grübler, et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

30 Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; Knopf *et al.*, à paraître ; AIE 2008c.

31 SnnbIEA 2008b ; McKinsey & Company 2009a.

32 Knopf *et al.*, à paraître ; Calvin *et al.*, à paraître ; AIE 2008c.

33 Rao *et al.* 2008 ; AIE 2008b ; Mignone *et al.* 2008. Cette assertion vaut en l'absence de technologie de géo-ingénierie efficace et acceptable (voir le chapitre 7).

34 AIE 2008b ; AIE 2008c ; Riahi, Grübler, et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; Calvin *et al.*, à paraître.

35 Raupach *et al.* 2007.

36 Shalizi et Lecocq 2009.

37 Philibert 2007.

38 McKinsey & Company 2009b.

39 Banque mondiale 2001.

40 AIE 2008b ; Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

41 AIE 2008b ; Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009. L'ampleur des réductions d'émission nécessaires dépend fortement des scénarios de référence, qui varient beaucoup d'un modèle à l'autre.

42 AIE 2008b ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009 ; IAC 2007. Il convient de noter que la modification de l'utilisation des sols et la réduction du méthane font aussi partie des mesures essentielles susceptibles d'être prises dans les secteurs non énergétiques (voir chapitre 3) pour concrétiser le scénario de 450 ppm de CO₂e, notamment pour gagner du temps à court terme dans l'attente du développement de nouvelles technologies.

43 Knopf *et al.*, à paraître ; Rao *et al.* 2008.

44 Rao *et al.* 2008 ; Calvin *et al.*, à paraître ; Knopf *et al.*, à paraître.

45 Barrett 2003 ; Burtraw *et al.* 2005.

46 Une molécule de méthane, composante majeure du gaz naturel, peut contribuer 21 fois plus au réchauffement de la planète qu'une molécule de CO₂.

47 SEG 2007.

48 AIE 2008b ; McKinsey & Company 2009b.

49 de la Torre *et al.* 2008.

50 McKinsey & Company 2009a.

51 Selon l'étude sur la réduction du carbone au Mexique, près de la moitié des réductions d'émissions susceptibles d'être réalisées sont imputables à des interventions qui auraient des effets positifs nets (Johnson *et al.* 2008).

52 Bosseboeuf *et al.* 2007.

53 AIE 2008b ; Worldwatch Institute 2009.

54 PNUE 2003.

55 GIEC 2007.

56 Brown, Southworth et Stovall 2005 ; Burton *et al.* 2008. Selon un examen global de données empiriques relatives à 146 bâtiments écologiques situés dans dix pays, les coûts de construction de ce type de bâtiments sont supérieurs en moyenne de 2 % au coût des bâtiments classiques, mais les bâtiments verts pourraient entraîner une réduction médiane de 33 % de la consommation d'énergie (Kats 2008).

57 Shalizi et Lecocq 2009.

58 Brown, Southworth et Stovall 2005.

59 AIE 2008b.

60 Johnson *et al.* 2008.

61 Brown, Southworth et Stovall 2005 ; ETAAC 2008.

62 Johnson *et al.* 2008.

63 Sorrell 2008.

64 AIE 2008c.

65 Stern 2007. Une petite partie des subventions – dix milliards de dollars par an en faveur des énergies renouvelables, par exemple – est consacrée aux technologies propres.

66 Banque mondiale 2008a.

67 Sterner 2007.

68 PNUE 2008.

69 Ezzati *et al.* 2004.

70 Wang et Smith 1999.

71 Une taxe carbone de 50 dollars par tonne de CO₂ se traduit par une taxe de 0,045 dollar le kilowattheure sur l'électricité produite à partir du charbon ou par une taxe de 0,45 dollar sur le gallon de pétrole (soit 0,12 dollar le litre).

72 Philibert 2007.

73 WBCSD 2008.

74 Conseil mondial de l'énergie 2008.

75 Goldstein 2007.

76 Meyers, McMahan et McNeil 2005.

77 Goldstein 2007.

78 Les prêts hypothécaires tenant compte de l'efficacité énergétique permettent aux emprunteurs de prétendre à des emprunts plus élevés en incluant les économies d'énergie réalisées grâce à l'amélioration des rendements énergétiques.

79 ESMAP 2008.

80 Banque mondiale 2008d.

81 Taylor *et al.* 2008.

82 Banque mondiale 2008b.

83 Dans le cadre de ces commandes en gros, chaque lampe coûte environ un dollar (contre trois à cinq dollars en dehors de ces programmes), auquel s'ajoute un dollar correspondant aux coûts de transaction relatifs à la distribution, aux opérations de sensibilisation et de promotion, aux activités de suivi et de vérification, et aux essais.

84 ESMAP 2009.

85 Armel 2008.

86 AIE 2008b ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

87 Le coût des énergies éolienne, géothermique et hydroélectrique varie beaucoup selon les ressources et les sites.

88 AIE 2008a.

89 ESMAP 2006.

90 Par exemple, les normes de portefeuille d'énergies renouvelables tendent à favoriser l'énergie éolienne et à défavoriser l'énergie solaire.

91 Banque mondiale 2006.

92 MIT 2003 ; Keystone Center 2007.

93 MIT 2003.

94 Worldwatch Institute 2008 ; AIE 2008b.

95 Calvin *et al.*, à paraître ; Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

96 Riahi, Grübler et Nakićenović 2007 ; IIASA 2009.

97 Gibbins et Chalmers 2008.

98 Sperling et Gordon 2008.

99 Weyant *et al.* 2009.

Bibliographie

Armel, K. C., « Behavior, Energy and Climate Change: A Solutions-Oriented Approach », document présenté au Forum sur l'énergie de l'université californienne de Stanford, 2008.

Banque mondiale, *China: Opportunities to Improve Energy Efficiency in Buildings*, World Bank Asia Alternative Energy Programme and Energy & Mining Unit, zone est-asiatique et Pacifique, Washington, 2001.

Banque mondiale, *Renewable Energy Toolkit: A Resource for Renewable Energy Development*, Washington, 2006.

Banque mondiale, *An Evaluation of World Bank Win-Win Energy Policy Reforms*, Washington, 2008a.

Banque mondiale, *Energy Efficiency in Eastern Europe and Central Asia*, Washington, 2008b.

Banque mondiale, *South Asia Climate Change Strategy*, Washington, 2008c.

Banque mondiale, *The Development of China's ESCO Industry, 2004–2007*, Washington, 2008d.

Banque mondiale, *World Development Indicators 2008*, Washington, 2008e.

Banque mondiale, *World Development Report 2009: Reshaping Economic Geography*, Washington, 2008f.

Banque mondiale, *Energizing Climate-Friendly Development: World Bank Group Progress on Renewable Energy and Energy Efficiency in Fiscal 2008*, Washington, 2009a.

Banque mondiale, *World Bank Urban Strategy*, Washington, 2009b.

Banque mondiale, *World Development Indicators 2009*, Washington, 2009c.

Barker, T., Bashmakov, I., Bernstein, L., Bogner, J. E., Bosch, P. R., Dave, R., Davidson, O. R., Fisher, B. S., Gupta, S., Halsnaes, K., Heij, B., Khan Ribeiro, S., Kobayashi, S., Levine, M. D., Martino, D. L., Masera, O., Metz, B., Meyer, L. A., Nabuurs, G.-J., Najam, A., Nakićenović, N., Rogner, H.-H., Roy, J., Sathaye, J., Schock, R., Shukla, P., Sims, R. E. H., Smith, P., Tirpak, D. A., Urge-Vorsatz, D. et Zhou, D., « Technical Summary », *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in B. Metz, O. R.

Davidson, P. R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer, Presse universitaire de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni, 2007.

Barrett, S., *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press. Royaume-Uni, 2003.

Beck, F. et Martinot, E., « Renewable Energy Policies and Barriers », *Encyclopedia of Energy*, C. J. Cleveland, Amsterdam, Elsevier, 2004.

Bosseboeuf, D., Lapillonne, B., Eichhammer, W. et Boonekamp, P., *Evaluation of Energy Efficiency in the EU-15: Indicators and Policies*, ADEME/IEEA, Paris, 2007.

Bouwman, A. F., Kram, T. et Goldewijk, K. K., *Integrated Modelling of Global Environmental Change: An Overview of IMAGE 2.4*, Agence néerlandaise de protection de l'environnement, Bilthoven, 2006.

Bowen, A., Fankhauser, S., Stern, N. et Zenghelis, D., *An Outline of the Case for a « Green » Stimulus*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment and the Centre for Climate Change Economics and Policy. Londres, 2009.

Brown, M. A., Southworth, F. et Stovall, T. K., *Towards a Climate-Friendly Built Environment*, Pew Center sur le changement climatique mondial, Arlington, VA, 2005.

Burton, R., Goldston, D., Crabtree, G., Glicksman, L., Goldstein, D., Greene, D., Kammen, D., Levine, M., Lubell, M., Savitz, M., Sperling, D., Schlachter, F., Scofield, J. et Dawson, J., « How America Can Look Within to Achieve Energy Security and Reduce Global Warming », *Reviews of Modern Physics*, 80 (4), S1–S109, 2008.

Burtraw, D., Evans, D. A., Krupnick, A., Palmer, K. et Toth, R., « Economics of Pollution Trading for SO₂ and NO_x », Discussion Paper, 05-05, Resources for the Future, Washington, 2005.

Commission énergétique de Californie, « 2007 Integrated Energy Policy Report », Sacramento, 2007a.

Commission énergétique de Californie, « Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation Technologies », Sacramento, 2007b.

Calvin, K., Edmonds, J., Bond-Lamberty, B., Clarke, L., Kyle, P., Smith, S., Thomson, A. et Wise, M., « Limiting Climate Change to 450 ppm CO₂ Equivalent in the 21st Century », *Energy Economics*, à paraître.

Chamon, M., Mauro, P. et Okawa, Y., « Cars: Mass Car Ownership in the Emerging Market Giants », *Economic Policy*, 23 (54), p. 243-96, 2008.

Chikkatur, A., *Policies for Advanced Coal Technologies in India (and China)*, Kennedy School of Government, Université d'Harvard, Cambridge, 2008.

Clarke, L., Edmonds, J., Krey, V., Richels, R., Rose, S. et Tavoni, M., « International Climate Policy Architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios », *Energy Economics*, à paraître.

Comité interministériel brésilien sur le changement climatique, *National Plan on Climate Change*, gouvernement du Brésil, Brasilia, 2008.

Commission de planification du gouvernement indien, *Integrated Energy Policy: Report of the Expert Committee*, Gouvernement indien, New Delhi, 2006.

Conseil mondial de l'énergie, *Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation*, Londres, 2008.

Dahowski, R. T., Li, X., Davidson, C. L., Wei, N., Dooley, J. J. et Gentile, R. H., « A Preliminary Cost Curve Assessment of Carbon-Dioxide Capture and Storage Potential in China », *Energy Procedia*, 1 (1), p. 2849-56, 2009.

- de la Torre, A., Fajnzylber, P. et Nash, J., *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change*, Banque mondiale, Washington, 2008.
- Deutsche Bank Advisors, *Investing in Climate Change 2009: Necessity And Opportunity In Turbulent Times*, Deutsche Bank Group, Francfort, 2008.
- Dodman, D., « Blaming Cities for Climate Change? An Analysis of Urban Greenhouse Gas Emissions Inventories », *Environment and Urbanization*, 21 (1), p. 185-201, 2009.
- Dooley, J. J., Dahowski, R. T., Davidson, C. L., Wise, M. A., Gupta, N., Kim, S. H. et Malone, E. L., *Carbon Dioxide Capture and Geologic Storage: A Core Element of a Global Energy Technology Strategy to Address Climate Change—A Technology Report from the Second Phase of the Global Energy Technology Strategy Program (GTSP)*, College Park, MD : Battelle, Joint Global Change Research Institute, 2006.
- Ebinger, J., Hamso, B., Gerner, F., Lim, A. et Plecas, A., « Europe and Central Asia Region: How Resilient Is the Energy Sector to Climate Change? », Background paper for Fay, Block et Ebinger, 2010, Banque mondiale, Washington, 2008.
- Edmonds, J., Clarke, L., Lurz, J. et Wise, M., « Stabilizing CO₂ Concentrations with Incomplete International Cooperation », *Climate Policy*, 8 (4), p. 355-76, 2008.
- EESI (Environmental and Energy Study Institute), *Jobs from Renewable Energy and Energy Efficiency*, Washington, 2008.
- ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), *Proceedings of the International Grid-Connected Renewable Energy Policy Forum*, Banque mondiale, Washington, 2006.
- ESMAP, *An Analytical Compendium of Institutional Frameworks for Energy Efficiency Implementation*, Banque mondiale, Washington, 2008.
- ESMAP, *Public Procurement of Energy Efficiency Services*, Banque mondiale, Washington, 2009.
- ETAAC (Economic and Technology Advancement Advisory Committee), *Technologies and Policies to Consider for Reducing Greenhouse Gas Emissions in California*, Sacramento, 2008.
- Ezzati, M., Lopez, A., Rodgers, A. et Murray, C., *Climate Change. Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Due to Selected Major Risk Factors*, vol. 2, Organisation mondiale de la santé, Genève, 2004.
- German Advisory Council on Global Change, *World in Transition: Future Bioenergy and Sustainable Land Use*, Earthscan, Londres, 2008.
- Gibbins, J. et Chalmers, H., « Preparing for Global Rollout: A “Developed Country First” Demonstration Programme for Rapid CCS Deployment », *Energy Policy*, 36 (2), p. 501-07, 2008.
- Goldstein, D. B., *Saving Energy, Growing Jobs: How Environmental Protection Promotes Economic Growth, Profitability, Innovation, and Competition*, Bay Tree Publishing, Berkeley, 2007.
- Gouvernement de Chine, *China's Policies and Actions for Addressing Climate Change*, Office d'information du Conseil d'État chinois de la République de Chine, Beijing, 2008.
- Gouvernement indien, *India National Action Plan on Climate Change*, Conseil sur le changement climatique du Premier ministre, New Delhi, 2008.
- Gouvernement du Mexique, *National Strategy on Climate Change*, Commission inter-sécrétariat sur le changement climatique du Mexique, Mexico City, 2008.
- Grübler, A., « Energy Transitions », *Encyclopedia of Earth*, Environmental Information Coalition, National Council for Science and Environment, ed. C. J. Cleveland, Washington, 2008.
- Hare, B. et Meinshausen, M., « How Much Warming Are We Committed to and How Much Can Be Avoided? », *Climatic Change*, 75 (1-2), p. 111-49, 2006.
- Holloway, S., Garg, A., Kapshe, M., Deshpande, A., Pracha, A. S., Kahn, S. R., Mahmood, M. A., Singh, T. N., Kirk, K. L. et Gale, J., « An Assessment of the CO₂ Storage Potential of the Indian Subcontinent », *Energy Procedia*, 1 (1), p. 2607-13, 2008.
- Hughes, J. E., Knittel, C. R. et Sperling, D., « Evidence of a Shift in the Short-Run Price Elasticity of Gasoline Demand », *Energy Journal*, 29 (1), p. 113-34, 2008.
- IAC (InterAcademy Council), *Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future*, secrétariat IAC, Pays-Bas, 2007.
- IEA (International Energy Agency), *Renewables for Heating and Cooling: Untapped Potential*, IEA and Renewable Energy Technology Development, Paris, 2007.
- IEA, *Empowering Variable Renewables: Options for Flexible Electricity Systems*, Paris, 2008a.
- IEA, *Energy Technology Perspective 2008: Scenarios and Strategies to 2050*, Paris, 2008b.
- IEA, *World Energy Outlook 2008*, Paris, 2008c.
- IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), « GGI Scenario Database », Laxenburg, Autriche, 2009.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), « Summary for Policymakers », *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R. et Meyer, L. A., Presse universitaire de Cambridge, Cambridge, 2007.
- Johnson, T., Liu, F., Alatorre, C. et Romo, Z., « Mexico Low-Carbon Study—México : Estudio Para la Disminución de Emisiones de Carbono (MEDEC) », Banque mondiale, Washington, 2008.
- Kats, G., *Greening Buildings and Communities: Costs and Benefits*, Good Energies, Londres, 2008.
- Kenworthy, J., « Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities », document présenté à la troisième Conférence internationale des gouvernements locaux pour un développement durable, Fremantle, Australie, 2003.
- Keystone Center, *Nuclear Power Joint Fact-Finding*, The Keystone Center, Keystone, 2007.
- Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Bauer, N., Baumstark, L., château, B., Criqui, P., Held, A., Isaac, M., Jakob, M., Jochem, E., Kitous, A., Kypreos, S., Leimbach, M., Magné, B., Mima, S., Schade, W., Scricciu, S., Turton, H. et van Vuuren, D., « The Economics of Low Stabilisation: Implications for Technological Change and Policy », *Making Climate Change Work for Us*, ed. M. Hulme and H. Neufeldt, Presse universitaire de Cambridge, Cambridge, à paraître.
- Lam, W. H. K. et Tam, M.-L., « Reliability of Territory-Wide Car Ownership Estimates in Hong Kong », *Journal of Transport Geography*, 10 (1), p. 51-60, 2002.
- Leimbach, M., Bauer, N., Baumstark, L. et Edenhofer, O., « Mitigation Costs in a Globalized World », *Environmental Modeling and Assessment*, à paraître.
- Lin, J., *Energy in China: Myths, Reality, and Challenges*, Energy Foundation, San Francisco, 2007.

- Lin, J., Zhou, N., Levine, M. et Fridley, D., *Achieving China's Target for Energy Intensity Reduction in 2010: An Exploration of Recent Trends and Possible Future Scenarios*, Lawrence Berkeley National Laboratories, Presse universitaire de l'Université de Californie, Berkeley, 2006.
- McKinsey & Company, *Pathways to a Low-carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*, McKinsey & Company, 2009a.
- McKinsey & Company, « Promoting Energy Efficiency in the Developing World », *McKinsey Quarterly*, février 2009b.
- Meyers, S., McMahon, J. et McNeil, M., *Realized and Prospective Impacts of U.S. Energy Efficiency Standards for Residential Appliances: 2004 Update*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Presse universitaire de l'Université de Californie, Berkeley, 2005.
- Mignone, B. K., Socolow, R. H., Sarmiento, J. L. et Oppenheimer, M., « Atmospheric Stabilization and the Timing of Carbon Mitigation », *Climatic Change*, 88 (3-4), p. 251-65, 2008.
- Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire, *Renewable Energy Sources in Figures: National and International Development*, Berlin, 2008.
- MIT (Institut de technologie du Massachusetts), *The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study*, MIT Press, Massachusetts, 2003.
- Neij, L., « Cost Development of Future Technologies for Power Generation: A Study Based on Experience Curves and Complementary Bottom-Up Assessments », *Energy Policy*, 36 (6), p. 2200-11, 2007.
- Nemet, G., « Beyond the Learning Curve: Factors Influencing Cost Reductions in Photovoltaics », *Energy Policy*, 34 (17), p. 3218-32, 2006.
- NRC (National Research Council), *The National Academies Summit on America's Energy Future: Summary of a Meeting*, National Academies Press, Washington, 2008.
- NRDC (National Resources Defense Council), *The Next Generation of Hybrid Cars: Plug-in Hybrids Can Help Reduce Global Warming and Slash Oil Dependency*, NRDC, Washington, 2007.
- Pew Center, « Climate Change Mitigation Measures in India », International Brief 2, Washington, 2008a.
- Pew Center, « Climate Change Mitigation Measures in South Africa », Pew Center on Global Climate Change International Brief 3, Arlington, 2008b.
- Philibert, C., *Technology Penetration and Capital Stock Turnover: Lessons from IEA Scenario Analysis*, Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency, Paris, 2007.
- Project Catalyst, *Towards a Global Climate Agreement: Project Catalyst*, document de synthèse, ClimateWorks Foundation, 2009.
- Pryor, S., Barthelmie, R. et Kjellstrom, E., « Potential Climate Change Impacts on Wind Energy Resources in Northern Europe: Analyses Using a Regional Climate Model », *Climate Dynamics*, 25 (7-8), p. 815-35, 2005.
- Rao, S., Riahi, K., Stehfest, E., van Vuuren, D., Cho, C., den Elzen, M., Isaac, M. et van Vliet, J., *IMAGE and MESSAGE Scenarios Limiting GHG Concentration to Low Levels*, International Institute for Applied Systems Analysis, Autriche, 2008.
- Raupach, M. R., Marland, G., Ciais, P., Le Quere, C., Canadell, J. G., Klepper, G. et Field, C. B., « Global and Regional Drivers of Accelerating CO₂ Emissions », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (24), p. 10288-93, 2007.
- REN 21, *Renewables 2007 Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Secretariat and Worldwatch Institute, Paris et Washington, 2008.
- Riahi, K., Grübler, A. et Naki enovi, N., « Scenarios of Long-Term Socio-Economic and Environmental Development under Climate Stabilization », *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), p. 887-935, 2007.
- Rogers, C., Messenger, M. et Bender, S., *Funding and Savings for Energy Efficiency Programs for Program Years 2000 through 2004*, Commission énergétique de Californie, Sacramento, 2005.
- Rokityanskiy, D., Benitez, P. C., Kraxner, F., McCallum, I., Obersteiner, M., Rametsteiner, E. et Yamagata, Y., « Geographically Explicit Global Modeling of Land-Use Change, Carbon Sequestration, and Biomass Supply », *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), p. 1057-82, 2006.
- Roland-Holst, D., *Energy Efficiency, Innovation, and Job Creation in California*, Center for Energy, Resources, and Economic Sustainability, Université de Californie, Berkeley, 2008.
- Rosenfeld, A. H., « California's Success in Energy Efficiency and Climate Change: Past and Future », document présenté à Électricité de France, Paris, 2007.
- Schaeffer, M., Kram, T., Meinshausen, M., van Vuuren, D. P. et Hare, W. L., « Near-Linear Cost Increase to Reduce Climate-Change Risk », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (52), p. 20621-26, 2008.
- Schipper, L., *Automobile Fuel, Economy and CO₂ Emissions in Industrialized Countries: Troubling Trends through 2005/6*, EMBARQ, the World Resources Institute Center for Sustainable Transport, Washington, 2007.
- SEG (Scientific Expert Group on Climate Change), *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, Sigma Xi and United Nations Foundation, Washington 2007.
- Shalizi, Z. et Lecocq, F., « Economics of Targeted Mitigation Programs in Sectors with Long-lived Capital Stock », Policy Research Working Paper 5063, Banque mondiale, Washington, 2009.
- Socolow, R., « Stabilization Wedges: Mitigation Tools for the Next Half-Century », document présenté à la Semaine de l'énergie de la Banque mondiale, Washington, 2006.
- Sorrell, S., « The Rebound Effect: Mechanisms, Evidence and Policy Implications », document présenté à The Electricity Policy Workshop, Toronto, 2008.
- Sperling, D. et Gordon, D., *Two Billion Cars: Driving Towards Sustainability*, Presse Universitaire d'Oxford, New-York, 2008.
- Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Presse universitaire de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni, 2007.
- Sterner, T., « Fuel Taxes: An Important Instrument for Climate Policy », *Energy Policy*, 35, p. 3194-3202, 2007.
- Sudarshan, A. et Sweeney, J., « Deconstructing the 'Rosenfeld Curve' », *Energy Journal*, à paraître.
- Tans, P., « Trends in Atmospheric Carbon Dioxide », National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, 2009.
- Taylor, R. P., Govindarajulu, C., Levin, J., Meyer, A. S. et Ward, W. A., *Financing Energy Efficiency: Lessons from Brazil, China, India and Beyond*, Banque mondiale, Washington, 2008.
- UNEP (United Nations Environment Programme), « Energy and Cities: Sustainable Building and Construction », document présenté à the UNEP Governing Council Side Event, Osaka, 2003.

UNEP, *Reforming Energy Subsidies: Opportunities to Contribute to the Climate Change Agenda*, Division Technologie, Industrie et Economie de l'UNEP, Nairobi, 2008.

United Nations, *State of the World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth*, Fonds des Nations Unies pour la population, New-York, 2007.

van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M., van Vliet, J. et Isaac, M., « Exploring Scenarios that Keep Greenhouse Gas Radiative Forcing Below 3 W/m² in 2100 in the IMAGE Model », *Energy Economics*, à paraître.

Wang, T. et Watson, J., *China's Energy Transition: Pathways for Low Carbon Development*, Groupe énergétique du Sussex et Centre de recherche sur le changement climatique de Tyndall, Falmer et Brighton, Royaume-Uni, 2009.

Wang, X. et Smith, K. R., « Near-term Benefits of Greenhouse Gas Reduction: Health Impacts in China », *Environmental Science and Technology*, 33 (18), p. 3056-61, 1999.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), *Power to Change: A Business Contribution to a Low Carbon Economy*, WBCSD, Genève, 2008.

Weber, C. L., Peters, G. P., Guan, D. et Hubacek, K., « The Contribution of Chinese Exports to Climate Change », *Energy Policy*, 36 (9), p. 3572-77, 2008.

Weyant, J., Azar, C., Kainuma, M., Kejun, J., Nakićenović, N., Shukla, P. R., La Rovere, E. et Yohe, G., *Report of 2.6 Versus 2.9 Watts/m² RCPP Evaluation Panel*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Genève, 2009.

Wilbanks, T. J., Bhatt, V., Bilello, D. E., Bull, S. R., Ekmann, J., Horak, W. C., Huang, Y. J., Levine, M. D., Sale, M. J., Schmalzer, D. K. et Scott, M. J., *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*, U.S. Climate Change Science Program, Washington, 2008.

Wise, M. A., Clarke, L., Calvin, K., Thomson, A., Bond-Lamberty, B., Sands, R., Smith, S., Janetos, T. et Edmonds, J., « The 2000 Billion Ton Carbon Gorilla: Implication of Terrestrial Carbon Emissions for a LCS », document présenté au Japan Low-Carbon Society Scenarios Toward 2050 Project Symposium, Tokyo, 2009.

Wiser, R. et Bolinger, M., *Annual Report on U.S. Wind Power Installation, Cost et Performance Trends: 2007*, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Washington, 2008.

World Economic Forum, *Green Investing: Towards a Clean Energy Infrastructure*, Forum économique mondial de Genève, 2009.

Worldwatch Institute, *State of the World 2008: Innovations for a Sustainable Economy*, W.W. Norton & Company, New-York, 2008.

Worldwatch Institute, *State of the World 2009: Into a Warming World*, W.W. Norton & Company, New-York, 2009.

WRI (World Resources Institute), « Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) », Washington, 2008.

Yates, M., Heller, M. et Yeung, L., *Solar Thermal: Not Just Smoke and Mirrors*, Merrill Lynch, New-York, 2009.

Zhang, X., *Observations on Energy Technology Research, Development and Deployment in China*, Institut de l'énergie, de l'environnement et de l'économie de l'université de Tsinghua, Beijing, 2008.



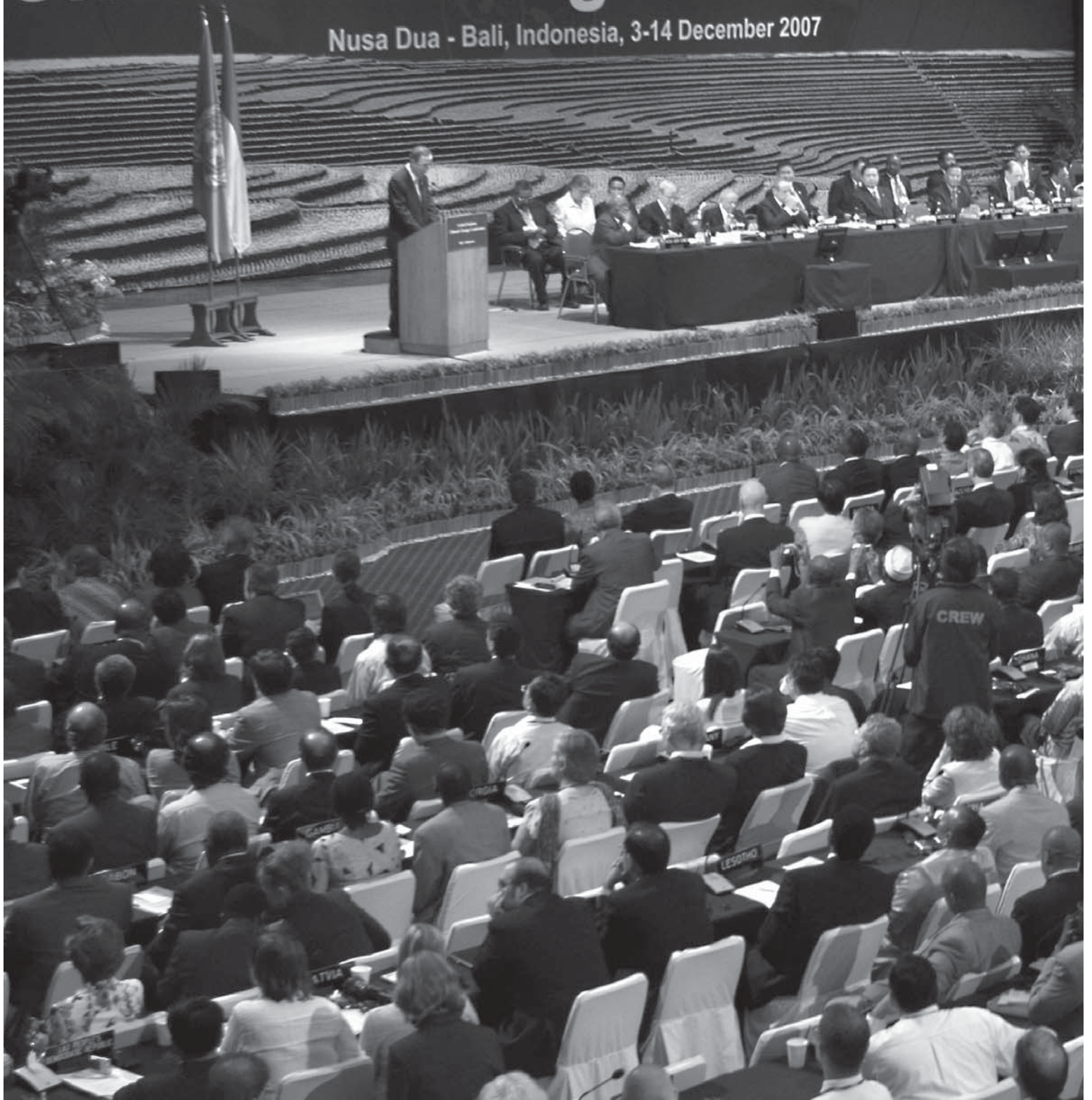
PARTIE

2



united nations climate change conference

Nusa Dua - Bali, Indonesia, 3-14 December 2007



Intégrer le développement dans un régime climatique mondial

Les vingt dernières années ont vu se constituer et évoluer un régime climatique mondial dont les pièces maîtresses sont la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et le Protocole de Kyoto (encadré 5.1), qui est un accord international juridiquement contraignant fixant les limites applicables aux émissions de gaz à effet de serre des pays développés. Le Protocole a créé un marché du carbone pour promouvoir l'investissement privé et abaisser le coût de la réduction des émissions, tout en incitant les pays à formuler des stratégies nationales pour faire face au changement climatique.

Mais tel qu'il existe aujourd'hui, le régime mondial comporte de graves lacunes. Il n'a pas permis de maîtriser de manière notable la progression des émissions, qui ont augmenté de 25 % depuis la signature du Protocole de Kyoto¹, et il n'a fourni qu'un appui très limité aux pays en développement. Le Mécanisme pour un développement propre (MDP),

dont les forces et les faiblesses sont examinées au chapitre 6, n'a, jusqu'à présent, guère contribué à transformer les stratégies de développement globales des pays, tandis que le Fonds pour l'environnement mondial a investi 2,7 milliards de dollars dans des projets axés sur les changements climatiques², soit un montant très inférieur aux besoins. Le régime mondial n'a, à ce jour, pas généré la coopération internationale pour la recherche-développement ou la mobilisation des ressources requises pour le transfert et le déploiement des technologies nécessaires à un développement sobre en carbone (voir chapitre 7) et, s'il a encouragé les pays pauvres à élaborer des programmes d'action nationaux pour l'adaptation, il ne leur a toutefois fourni qu'un appui concret limité. Enfin, après un démarrage assez lent, le Fonds pour l'adaptation est encore loin de pouvoir répondre aux besoins indiqués par les projections (voir chapitre 6).

En 2007, le Plan d'action de Bali a lancé des négociations dans le but de « parvenir d'un commun accord à un résultat » à Copenhague en 2009, lors de la quinzième session de la CCNUCC. Ces négociations étaient une opportunité de renforcer le régime climatique et de chercher à combler ses lacunes.

Ériger un régime climatique en réconciliant l'action climatique et l'action de développement³

Il est impossible de s'attaquer réellement au problème du changement climatique

Idée force

Un problème mondial de l'ampleur de celui que pose le changement climatique nécessite une action coordonnée au plan international. La poursuite de cette action dépend toutefois des mesures prises au niveau national. Pour être efficace, un régime climatique international doit prendre en compte les préoccupations de développement, et s'affranchir du présupposé d'une dichotomie environnement-équité. On pourrait retenir un cadre à plusieurs vitesses définissant des objectifs et des politiques différentes pour les pays développés et pour les pays en développement ; il faudrait, dans ce cas, formuler un processus pour définir et mesurer les résultats positifs. Le régime du climat international devra également appuyer l'intégration de l'adaptation dans le développement.

ENCADRÉ 5.1 *Le régime climatique actuel*

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), adoptée en 1992 et entrée en vigueur en 1994, a pour objectif ultime de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique « dangereuse » du système climatique. Elle classe les pays en trois grands groupes, auxquels correspondent des engagements différents :

Les parties visées à l'Annexe I sont les pays industrialisés qui étaient membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 1992 et différentes économies en transition (Parties en transition), notamment la Fédération de Russie, les États baltes et plusieurs États d'Europe de l'Est et d'Europe centrale. Les membres de ce groupe se sont engagés à adopter les politiques et les mesures d'adaptation au changement climatique qui s'imposent pour ramener leurs émissions de gaz à effet de serre aux niveaux de 1990 à l'horizon 2000.

Les parties visées à l'Annexe II sont les pays membres de l'OCDE visés à l'Annexe I, mais non les économies en transition. Ces pays doivent fournir les ressources nécessaires pour aider les pays en développement à réduire leurs émissions dans le cadre de la CCNUCC et à s'adapter aux effets négatifs du changement climatique. Ils doivent aussi « prendre toutes les mesures possibles » pour promouvoir la mise au point de technologies écologiquement rationnelles et leur transfert aux économies en transition et aux pays en développement.

Les parties non visées à l'Annexe I sont, principalement, des pays en développement et doivent, dans le cadre de leurs obligations générales, élaborer et mettre en œuvre des programmes d'action nationaux pour l'atténuation et l'adaptation.

L'organe de décision suprême est la Conférence des Parties à la Convention, qui se réunit tous les ans pour examiner la mise en œuvre de la Convention, adopter

des décisions pour préciser les règles de la Convention et négocier de nouveaux engagements concernant des questions de fond.

Le Protocole de Kyoto complète et renforce la Convention. Adopté en 1997 et entré en vigueur en février 2005, il comptait 184 parties signataires au 14 janvier 2009.

Fondamentalement, le Protocole fixe des objectifs de réduction des émissions qui sont juridiquement contraignants pour les Parties visées à l'Annexe I ; ces objectifs, qui sont propres à chaque Partie, ont été arrêtés à Kyoto à l'issue d'intenses négociations.

Outre les objectifs de réduction des émissions fixés pour les Parties à l'Annexe I, le Protocole de Kyoto contient une série d'engagements généraux (faisant écho à ceux pris dans le cadre de la CCNUCC) qui concernent toutes les Parties et visent, notamment, à :

- améliorer la qualité des données sur les émissions,
- établir des programmes nationaux d'adaptation et d'atténuation,
- promouvoir le transfert de technologies écologiquement rationnelles,
- coopérer à la création de réseaux internationaux de recherche scientifique et d'observation du climat, et
- soutenir des initiatives axées sur l'éducation, la formation, la sensibilisation et le renforcement des capacités.

Le Protocole a marqué un tournant décisif grâce à trois mécanismes novateurs – le Mécanisme de mise en œuvre conjointe, le Mécanisme pour un développement propre et l'Échange de droits d'émissions – conçus pour accroître le rapport coût-efficacité de l'atténuation des changements climatiques en offrant aux parties la possibilité de réduire les émissions ou de renforcer les puits de carbone à moindre frais à l'étranger que sur leur propre territoire.

Le Plan d'action de Bali, adopté par les parties à la CCNUCC en 2007, a lancé un vaste processus pour permettre l'application intégrale, effective et continue de la Convention par une action concertée à long terme, dès à présent, d'ici à 2012 et au-delà, en vue de parvenir d'un commun accord à un résultat à Copenhague en décembre 2009, lors de la quinzième session de la CCNUCC. Les négociations engagées à Bali couvrent quatre grands domaines : l'atténuation, l'adaptation, les technologies et les financements. Les Parties sont également convenues qu'elles devaient réfléchir à une vision commune de l'action concertée à long terme, notamment à un objectif global de réduction des émissions.

Source : Tiré de CCNUCC 2005 ; Décision 1/CP.13 de la CCNUCC, <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/fre/06a01.pdf> (consulté le 6 juillet 2009).

a. Les Parties au Protocole de Kyoto ont accepté les objectifs de limitation ou de réduction de leurs émissions. Le mécanisme de mise en œuvre conjointe permet à un pays devant atteindre un tel objectif de participer à un projet qui donne lieu à des réductions d'émission pouvant être prises en compte aux fins de la réalisation de l'objectif fixé, mais qui est exécuté dans un autre pays ayant pris un engagement similaire. Le mécanisme pour un développement propre (MDP) permet à un pays signataire du Protocole de poursuivre des projets de réduction d'émissions dans un pays en développement pour lequel aucun objectif n'a été fixé. L'échange de droits d'émission permet aux pays qui ont accumulé des unités d'émissions, c'est-à-dire des droits d'émission inutilisés, de vendre ces droits aux pays qui ont dépassé leur plafond. (Tiré de http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php, consulté le 5 août 2009.)

sans prendre en compte la question du développement. Les émissions de gaz à effet de serre évoluent avec la croissance économique pour agir sur le climat. Pour être efficace, un régime climatique doit donc inciter à repenser les trajectoires d'industrialisation et à dénouer les liens entre le développement et les émissions de CO₂. Cependant, pour des raisons d'ordre éthique et pratique, l'approche retenue doit permettre de répondre aux aspirations des populations en matière de développement et de forger un régime climatique équitable.

Il y a encore peu de temps, le changement climatique ne semblait pas être une opportunité de repenser le développement industriel. Les débats en la matière se poursuivaient en dehors des processus normaux de prise de décisions dans les domaines du financement, des investissements, des technologies et des mutations institutionnelles. Ce n'est plus guère le cas aujourd'hui. Dirigeants et citoyens ont pris conscience du changement climatique au point d'accepter la nécessité de prendre en compte la dimension climatique dans la prise de décisions de développement.

Pour construire un régime climatique efficace sur cette base, il faut poursuivre simultanément, et dans un souci d'équité, de multiples objectifs concernant le climat et le développement économique et social. Il serait naïf de nier les tensions qui existent entre ces objectifs. De fait, la seule perspective de devoir faire des compromis peut être un obstacle politique majeur à l'intégration du changement climatique et du développement. Les différences qui existent entre les perceptions et les cadres conceptuels des pays riches et des pays en développement peuvent aussi compromettre la poursuite d'un utile débat sur la manière d'intégrer les actions climatiques dans le cadre du développement. Bien souvent, ces tensions se manifestent entre le Nord et le Sud.

Pour ériger un régime climatique qui réponde aux préoccupations de développement, il est bon de faire le bilan des opinions contraires et de chercher à surmonter les divergences. Ce chapitre examine quatre sources de tension entre la perspective climatique et la perspective de développement : l'environnement et l'équité ; le partage de la charge et les actions précoces opportunistes ; une évolution climatique prévisible et un processus de développement imprévisible ; et la conditionnalité et l'adhésion. Ces sources de tension sont décrites ici en termes très généraux pour faire ressortir les points de désaccord et les remèdes éventuels, sachant que, en réalité, les positions des pays, au nord comme au sud, sont beaucoup plus nuancées que les situations extrêmes décrites ici. La deuxième partie du chapitre examine d'autres démarches qui pourraient être envisagées pour intégrer les pays en développement dans l'architecture internationale.

L'atténuation des effets du changement climatique : environnement et équité

Les objectifs d'équité et de protection de l'environnement ont de tous temps été considérés comme des éléments fondamentaux du régime climatique. Au fil des ans, toutefois, il a fallu préciser ces objectifs qui ont alors perdu leur caractère complémentaire pour devenir des éléments d'opposition, et les négociations climatiques se sont enlisées. L'optique d'équité et l'optique de protection de l'environnement sont apparues de plus en plus inconciliables et les pays ont opté pour l'une plutôt que l'autre, de manière prévisible, suivant un axe Nord-Sud.

Durant la majeure partie des vingt dernières années, le changement climatique a été considéré comme un problème essentiellement environnemental, en raison des phénomènes scientifiques qui l'expliquent : les gaz à effet de serre s'accumulent dans l'atmosphère et ont un impact sur le climat parce que les émissions anthropiques augmentent et que la capacité d'absorption de ces gaz par les océans et la biosphère n'est pas infinie. Considéré sous cet angle, le problème doit être résolu par une action collective à l'échelle mondiale, et la démarche privilégiée consiste à négocier des engagements de réduction des émissions en valeur absolue.

Cette optique purement environnementale a provoqué l'apparition d'une perspective concurrente, dans laquelle le problème du changement climatique est essentiellement un problème d'équité. Les tenants de cette approche reconnaissent qu'il existe des limites environnementales mais, pour eux, le problème tient au fait que les pays riches occupent une part disproportionnée de l'espace écologique existant. Considéré sous cet angle, un régime climatique équitable doit s'appuyer sur des principes d'allocation qui sont basés, notamment, sur les émissions par habitant et les émissions passées.

Les objectifs d'équité et de protection de l'environnement sont donc devenus les grands pôles du débat. Les pays à revenu élevé font valoir que les émissions des nouveaux pays industriels sont déjà importantes et qu'elles constitueront une proportion croissante des émissions mondiales – et c'est pourquoi il est nécessaire de réduire les émissions en valeur absolue⁴. Les nouveaux pays industriels et les pays en développement considèrent qu'un régime basé sur des réductions négociées en valeur absolue les condamnerait à perpétuité à un système d'émissions inégales, qui ne serait pas viable pour eux. Leurs inquiétudes à ce sujet sont avivées par le fait que les émissions de nombreux pays à revenu élevé ont augmenté au cours des vingt dernières années, c'est-à-dire depuis le début des négociations climatiques. Alors qu'il est plus urgent que jamais de trouver une solution, de nombreux pays en développement, en particulier les grands pays en voie d'industrialisation rapide, craignent que l'attention ne se porte de plus en plus sur eux et que la respon-

sabilité de l'atténuation des émissions ne leur incombe dans une mesure croissante. Ces craintes sont nourries par la perception que les « gros émetteurs », au nombre desquels figurent aussi les grands pays en voie d'industrialisation rapide, sont la principale source du problème.

Pour être légitime et efficace, le futur régime climatique mondial devra surmonter ces clivages – et prendre en compte ces deux perspectives. Tout d'abord, les négociations mondiales doivent être abordées dans une optique pluraliste. Étant donné la rigidité des positions politiques prises de part et d'autre et le fait que des arguments valables existent pour l'une comme pour l'autre, ni le souci de protection de l'environnement ni celui d'équité ne peut être le principe directeur absolu des négociations ; les deux perspectives sont essentielles. Des démarches participant des deux optiques ont été proposées, qui visent à recadrer les négociations dans le contexte du développement et ont l'avantage d'élargir le débat. L'une d'elle propose de reformuler le problème en termes de droit au développement plutôt qu'en termes de droit de produire des émissions, et de déterminer la « responsabilité » et la « capacité » des pays d'agir face au changement climatique⁵. Une autre envisage la formulation de « politiques et de mesures de développement durable » (c'est-à-dire de mesures plaçant un pays sur une trajectoire sobre en carbone entièrement compatible avec les priorités nationales de développement) par les pays en développement, associées à des réductions des émissions en valeur absolue des pays à revenu élevé⁶. Bien que les détails de ces propositions soient matière à débat, le régime climatique aurait tout à gagner d'une démarche pragmatique basée sur l'intégration judicieuse des questions climatiques et de développement.

Toutefois, pour convaincre les pays en développement que cette intégration ne les conduira pas à devoir peu à peu assumer une part toujours plus grande des responsabilités d'atténuation, il faudra faire du principe d'équité l'un des piliers du régime mondial. On pourrait envisager, par exemple, d'adopter comme objectif à long terme la convergence des émissions par habitant de tous les pays dans une fourchette donnée ; un tel objectif serait à la fois un précepte moral et un moyen d'éviter que le régime n'impose des limites d'émissions foncièrement inégales pour l'avenir. Là encore, même si les détails peuvent être matière à négocier, tout régime climatique devra être ancré sur un principe d'équité pour être légitime.

Étant donné que le Nord est responsable des stocks de gaz à effet de serre accumulés dans le passé, comme le déclare fermement la Convention à plusieurs reprises, il serait difficile d'envisager un régime mondial efficace qui ne donnerait pas lieu à l'adoption rapide de rigoureuses mesures d'atténuation par les pays développés. La poursuite sans attendre d'actions climatiques par le Nord, le respect d'un robuste principe d'équité et des négociations menées dans

un esprit pluraliste devraient constituer les bases nécessaires pour s'affranchir du présupposé d'une dichotomie environnement-équité qui bloque les négociations climatiques mondiales.

Le partage de la charge et une action précoce opportuniste

Que l'on aborde la question du changement climatique sous l'angle de la protection de l'environnement ou sous celui de l'équité, l'on part, dans les deux cas, de l'hypothèse fondamentale que le problème se pose au niveau du partage de la charge. L'expression même de partage de la charge implique que les mesures d'atténuation pèseront extrêmement lourd sur les économies nationales. Les infrastructures et les modes de production actuels ayant été conçus dans un monde où les émissions de carbone n'avaient pas de coût financier, l'édification de sociétés et d'économies dans un monde où ces émissions coûteront cher imposera d'énormes coûts d'adaptation. Les problèmes auxquels se heurtent le Nord et le Sud dans leurs débats sur le régime climatique sont étroitement liés à la question du partage de la charge, car ce partage, et partant son coût politique, sont très différents si l'on se place dans l'optique de protection de l'environnement ou dans celle de l'équité.

Sachant que la question du partage de la charge incite les responsables de l'action publique à se retrancher dans leurs positions, les partisans de la prise immédiate de mesures d'atténuation s'efforcent de présenter ces mesures comme une opportunité à saisir et non pas un fardeau à répartir. Ils font valoir que les actions menées en application de réglementations environnementales se sont à maintes reprises révélées moins onéreuses qu'on ne le craignait ; cela a été le cas, notamment, pour les mesures visant les pluies acides et la destruction de la couche d'ozone⁷. Même si les mesures d'atténuation ont un coût ultime, les premiers à adopter des technologies d'atténuation jouissent d'un avantage relatif car, à terme, ils se trouveront dans une position avantageuse pour tirer parti des nouveaux marchés engendrés par la tarification du carbone. De nombreuses opportunités d'atténuation – notamment une utilisation rationnelle de l'énergie – ont un coût économique négatif et présentent aussi des avantages au plan du développement. De surcroît, à moyen terme, les sociétés qui sont les premières à agir peuvent exploiter les rétroactions positives entre les institutions, les marchés et les technologies pendant que leurs économies se préparent pour un avenir sobre en carbone. La forme la plus extrême de l'approche opportuniste consiste à prendre sans attendre des mesures d'atténuation, quelles que soient les dispositions prises par les autres pays, pour occuper une position privilégiée.

Il ne faudrait pas, toutefois, pousser cet argument trop loin. En théorie, les imbrications étroites entre climat et développement industriel donnent à penser que les coûts

d'ajustement seront probablement élevés et que les exemples passés comme ceux des pluies acides et de l'appauvrissement de la couche d'ozone, ne sont guère pertinents. Pas plus le capital industriel bâti dans un environnement où les émissions de carbone n'étaient pas quantifiées que la dépendance à l'égard des réserves de combustibles fossiles ne disparaîtront du jour au lendemain. Les sceptiques pourront faire remarquer que, jusqu'à présent, le discours sur les opportunités offertes par le changement climatique n'a débouché sur l'adoption, par les principaux pays à revenu élevé, d'aucune mesure concrète qui permettrait aux pays en développement de saisir ces opportunités.

Qui plus est, même si les pays sont convaincus par les arguments en faveur d'une attitude opportuniste, ils continueront probablement, pour des raisons stratégiques, à plaider haut et fort pour un partage de la charge adapté à leurs fins pour négocier les accords les plus avantageux possibles même s'ils s'organisent, sans le proclamer, pour saisir les opportunités qui se présentent. Il est donc peu probable que l'exploitation des opportunités supplante le partage de la charge en tant qu'argument dominant, du moins à court terme – elle n'offre qu'un motif ténu de redéfinir des positions politiques profondément enracinées dans le domaine du changement climatique.

Il est toutefois important de s'engouffrer dans la brèche, aussi étroite soit-elle. La perspective de tirer des opportunités économiques du problème du changement climatique pourrait être l'incitation ultime nécessaire aux politiques pour s'atteler à la dure tâche qui consiste à placer les économies et les sociétés sur une trajectoire menant à un avenir sobre en carbone. Il est beaucoup plus difficile de convaincre quiconque de passer à l'action s'il n'y trouve aucun avantage. Et il est important de passer à l'action pour que se constituent des groupes d'intérêt déterminés à promouvoir un avenir sobre en carbone, déclencher un processus d'expérimentation, accroître les coûts que doivent assumer ceux qui ne suivent pas, et générer un effet d'entraînement. Si la thèse opportuniste n'est pas sans faille, elle peut néanmoins empêcher que l'argument du partage de la charge continue de prédominer dans le débat sur le climat (encadré 5.2).

Évolution climatique prévisible et processus de développement imprévisible

Le partage de la charge résulte du cadre environnemental dans lequel le problème climatique est replacé ; ce dernier rend nécessaire la fixation d'objectifs de réduction des émissions en valeur absolue pour éviter un changement climatique catastrophique. Sur la base des recommandations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), certains pays et analystes ont plaidé pour l'adoption d'un objectif global limitant la hausse des températures mondiales à un maximum de 2 °C, ce qui implique

une réduction des émissions mondiales, à l'horizon 2050, d'au moins 50 % (la limite inférieure de la fourchette de 50 à 85 % établie par le GIEC) par rapport à leurs niveaux de 1990⁸. Plusieurs pays à revenu élevé ont réagi en soumettant des propositions d'objectifs de réduction nationaux (pour 2050 et, dans certains cas, pour des années intermédiaires)⁹, le but fondamental étant d'établir des données de référence et de mesurer les progrès accomplis dans la lutte contre le changement climatique.

La fixation d'un objectif mondial s'avère particulièrement utile lorsqu'il s'agit d'évaluer les engagements pris par les pays à revenu élevé face à l'ampleur du problème. Toutefois, comme indiqué au chapitre 4, un simple calcul montre que la fixation d'un tel objectif a des répercussions sur les pays en développement. L'écart entre l'objectif global de réduction et la somme des objectifs établis pour les pays à revenu élevé devra être comblé par les pays en développement. C'est pourquoi plusieurs de ces derniers s'opposent à cette approche qui est, à leur avis, un moyen détourné de les obliger à prendre des engagements, ou insistent pour que soit mené, en parallèle, un examen du cadre d'allocation¹⁰. Leur attitude tient moins à leur opposition à la fixation d'un objectif mondial qu'à leur crainte que l'expression du problème en termes d'objectifs prévisionnels ne conduise à traduire toutes les actions en réductions d'émissions en valeur absolue et, donc, à imposer un plafond implicite aux émissions des pays en développement.

Le défi climatique se présente de manière très différente lorsque l'on se place dans une perspective de développement. Un nouveau courant de pensée, issu d'une réflexion intellectuelle riche et complexe sur les questions de développement, met l'accent sur les institutions et leur inertie qui bloque le développement (chapitre 8). Dans cette optique, les « règles du jeu » officielles et les normes informelles, notamment culturelles, sont d'importants facteurs déterminants des incitations économiques, des transformations institutionnelles, de l'innovation technologique et des mutations sociales. La politique est au cœur de ce processus, puisque différents acteurs s'organisent pour transformer les institutions et les incitations, au même titre que la vision intellectuelle de ce que ces acteurs peuvent apporter dans le cadre de leur participation au processus de développement. Trois points essentiels méritent d'être soulignés à cet égard. Tout d'abord, le développement est un processus de transformation qui s'effectue essentiellement de bas en haut. En second lieu, le développement dépend dans une mesure cruciale de l'histoire des sociétés et des structures institutionnelles antérieures, ce qui limite grandement l'intérêt de modèles standard – aucune stratégie n'est applicable à tous. Enfin, cette conception du changement vaut aussi pour les pays à revenu élevé, même si le défi posé par les imperfections et les carences institutionnelles semble moins redoutable

ENCADRÉ 5.2 Mécanismes proposés pour le partage de la charge

Contraction et convergence

Le mécanisme de « contraction et convergence » alloue à chaque être humain la même quantité de droits d'émission de gaz à effet de serre, de sorte que, à terme, tous les pays auront la même quantité d'émissions par habitant. Le volume total des émissions se contractera progressivement et les émissions par habitant convergeront vers la même quantité. La valeur effective vers laquelle les émissions par habitant convergeront, la trajectoire à suivre pour l'atteindre et l'horizon retenu sont autant de paramètres négociables.

Droits au développement dans le contexte du changement climatique

Selon le Cadre des droits au développement dans le contexte du changement climatique (« Greenhouse Development Rights »), il ne devrait pas être demandé aux pays qui s'évertuent à faire reculer la pauvreté d'allouer en priorité leurs ressources limitées à la lutte contre le changement climatique. Il faudrait, au contraire, que ce soit les pays plus riches, qui ont une plus grande capacité contributive et sont bien plus responsables du stock de carbone accumulé à ce jour d'assumer la plus grande partie des coûts d'un programme mondial d'atténuation et d'adaptation. L'originalité de ce cadre tient au fait qu'il définit et calcule les obligations nationales sur la base du revenu des personnes et non du revenu national. La capacité contributive d'un pays (les ressources qu'il peut investir sans devoir renoncer à satisfaire les besoins essentiels) et sa responsabilité (sa contribution au problème climatique) sont donc déterminées par l'excédent du revenu national ou des émissions nationales par rapport à un « seuil de développement ». Ce seuil est estimé à environ 20 dollars par personne et par jour (soit 7 500 dollars par personne et par an), et les émissions sont considérées être proportionnelles au revenu. Selon l'indice de capacité-responsabilité établi sur la base de ce modèle, les États-Unis devront assurer 29 % de la réduction des émissions mondiales nécessaires à l'horizon 2020 pour limiter le réchauffement à 2 °C, suivis de l'Union européenne (23 %) et de la

Chine (10 %). La proportion des réductions imputable à l'Inde serait de l'ordre de 1 %.

Proposition du Brésil : une responsabilité historique

En 1997, durant les négociations qui ont abouti au Protocole de Kyoto, le Brésil a proposé d'utiliser la « responsabilité historique » comme base de répartition des coûts d'atténuation entre les pays visés à l'Annexe I (c'est-à-dire les pays pour lesquels des objectifs fermes avaient été fixés). Le but était de prendre en compte « la relation entre les émissions de gaz à effet de serre des Parties sur une période donnée et l'effet de ces émissions sur le changement climatique, mesuré par l'accroissement de la température moyenne mondiale à la surface ».

L'originalité de cette proposition tient à la méthode utilisée pour répartir les coûts de réduction des émissions entre les pays, qui établit l'objectif d'émission de chaque pays visé à l'Annexe I en fonction de la contribution relative de ces pays au réchauffement mondial.

Le Brésil avait inclus dans sa proposition un « modèle de décision » pour déterminer les objectifs d'émission des pays et un « modèle convenu de changement climatique » pour estimer la contribution d'un pays au réchauffement planétaire.

Budget carbone

Selon un groupe de recherche de l'Académie chinoise des sciences sociales :

- Les droits d'émission de gaz à effet de serre sont un droit fondamental qui assure la survie et le développement. Le but est d'assurer l'égalité entre les êtres humains et non entre les pays.
- Pour promouvoir l'égalité entre les êtres humains, il est crucial de garantir les droits de la génération actuelle. Une ligne d'action envisageable pour promouvoir un développement durable et ralentir les changements climatiques consiste à maîtriser la croissance démographique.
- Étant donné les richesses accumulées pendant les phases d'un développement qui ont généré des émissions de gaz à effet de serre, il ne sera possible de parvenir à l'égalité aujourd'hui qu'en assurant l'équité au regard du développement passé, actuel et futur.

- Accorder la priorité aux besoins essentiels signifie que la répartition des droits d'émission doit tenir compte des différences entre les environnements naturels.

Si l'on considère uniquement les émissions de CO₂ associées aux combustibles fossiles, et si ces émissions atteignent leur maximum en 2015 puis sont ramenées à 50 % du niveau de 2005 à l'horizon 2050, le budget carbone annuel par habitant pour la période 1900-2050 sera de 2,33 tonnes de CO₂. Les allocations de carbone initiales devraient être, pour chaque pays, proportionnelles à la population de l'année de référence, et ajustées au titre de facteurs naturels tels que le climat, les conditions géographiques et les ressources naturelles.

Les pays en développement qui, pour la plupart, affichent jusqu'à présent des émissions inférieures aux limites du budget carbone et ont, de ce fait, droit à une croissance économique et à la production d'émissions, sont contraints de transférer leurs crédits carbone aux pays développés pour couvrir les excès passés de ces pays et assurer la satisfaction à l'avenir de leurs propres besoins essentiels. La dette accumulée représente quelque 460 gigatonnes de CO₂, soit 59 000 milliards de dollars (au coût actuel de 13 dollars la tonne). Ce chiffre est nettement supérieur au montant de l'aide financière fournie aux pays en développement au titre de la lutte contre le changement climatique. Les niveaux toujours importants des émissions par habitant dans les pays à revenu élevé pourraient être en partie compensés sur le marché du carbone. Mais il faudra probablement imposer des taxes progressives sur le carbone, et prendre en compte les émissions excédentaires dans le cadre du prochain cycle de négociations.

Sources : Contraction and convergence : Meyer 2001. Greenhouse development rights : Baer, Athanasiou et Kartha 2007. Brésil : Proposition du Gouvernement brésilien soumise à la CCNUCC en 1997 (<http://unfccc.int/cop3/resource/docs/1997/agbm/misc01a3.htm>, consulté le 7 juillet 2009). Carbon budget : tiré de Jiahua et Ying 2008.

dans leur cas et si l'action publique et les signaux par les prix décidés en haut lieu sont considérés comme les principaux moteurs de changement.

Considéré sous cet angle, un développement sobre en carbone dans les pays en développement sera un processus de longue haleine, qui se prêtera moins facilement à une action déterminée par des objectifs et des calendriers fixés par les autorités que dans les pays à revenu élevé. Il ne sera en fait possible d'orienter le développement vers une trajectoire à faible intensité de carbone qu'en intégrant cet objectif dans les processus de développement de plus vaste portée auxquels participent déjà les administrations, les entreprises, la société civile et les citoyens. En d'autres termes, il faut intégrer la composante climatique dans le développement. Cette démarche peut être illustrée par le remplacement de l'aménagement urbain dans le contexte d'un avenir sobre en carbone, c'est-à-dire le regroupement des lieux de travail et des lieux de vie pour réduire les besoins de transport, la construction de bâtiments « verts » et la formulation d'options de transports publics (voir chapitre 4) par opposition à la poursuite d'une approche guidée par des objectifs à court terme qui pourraient, par exemple, privilégier l'utilisation de voitures plus économiques en carburant dans les infrastructures urbaines existantes.

Comme l'explique le chapitre 4, ces deux approches sont nécessaires, l'une pour produire des résultats à court terme et l'autre pour permettre les transformations indispensables à long terme. Les deux perspectives sont donc complémentaires. Une perspective climatique peut amener à préconiser toute une série de mesures à court terme applicables, pour l'essentiel, dans la plupart des pays moyennant un ajustement minimal, et qui procurent des avantages au plan du développement. Bon nombre de ces mesures concernent la maîtrise de l'énergie, telles que l'amélioration des codes du bâtiment, l'adoption de normes de fabrication des appareils ménagers, etc.¹¹. Qui plus est, ces mesures peuvent s'inscrire dans une démarche à plus long terme menant à repenser le développement dans une optique climatique.

Toutefois, le désir d'agir à brève échéance et le souci de promouvoir une action prévisible ne doit pas évincer ou exclure des mutations à plus long terme mais aussi plus fondamentales pour promouvoir un développement sobre en carbone. Or c'est bien là le risque auquel on s'expose en cherchant trop à calibrer les efforts déployés par les pays en développement par rapport à un objectif mondial à long terme. Comme indiqué précédemment, de nombreuses transformations ne peuvent pas être planifiées de haut en bas, de sorte qu'elles ne se prêtent pas à l'établissement de calendriers et ne peuvent pas être facilement mesurées. En fait, si l'accent est trop mis sur la nécessité de mesurer les résultats et d'établir des prévisions, les pays concernés seront incités à limiter la portée de leurs interventions pour réduire le plus possible le risque de ne pas tenir leurs engagements.

En outre, l'idée même d'un objectif implicite défini par la différence entre l'objectif de réduction mondiale et les réductions d'émissions des pays à revenu élevé ne peut qu'encourager des manipulations stratégiques : les pays auront en effet intérêt à persuader la communauté internationale que les actions qu'ils peuvent mener sont très limitées et seront très coûteuses.

Pour concilier ces deux perspectives, il pourrait être nécessaire de suivre un modèle imbriqué à deux niveaux à court ou à moyen terme, au moins jusqu'en 2020. Conformément au principe des « responsabilités communes mais différenciées » énoncé dans la CCNUCC, les pays à revenu élevé pourraient s'engager à planifier en priorité leurs mesures de réduction des émissions de carbone pour assurer leur prévisibilité et garantir, dans une certaine mesure, que le monde est sur la trajectoire requise pour relever le défi climatique. Les cibles fixées pour le court et le moyen termes, pour 2020 et 2030, sont dans ce cas aussi importantes que l'objectif visé pour 2050 parce qu'il est plus utile de réduire les émissions de carbone plus tôt que plus tard, et parce que les mesures prises en ce domaine contribueront peut-être à donner confiance aux pays en développement. Ces derniers pourraient suivre une deuxième voie, comme expliqué plus loin dans ce chapitre, en définissant leurs priorités pour réorienter leurs économies et leurs sociétés vers un développement sobre en carbone.

Il convient de souligner que ces démarches n'ont pas nécessairement pour effet de remettre en cause les niveaux de vie et qu'elles ne doivent en aucun cas les compromettre ; au contraire, elles doivent viser systématiquement à explorer les avantages que le développement peut avoir sur le plan du changement climatique. Dans cette optique à plus long terme, les pays en développement pourraient avoir pour objectif connexe de convenir des « meilleures pratiques » à court terme – notamment aux fins de la maîtrise de l'énergie – qui ont des effets positifs tant sur le développement que sur le climat. S'ils convenaient de résolument poursuivre de telles mesures, ils rassureraient dans une certaine mesure le monde que certains progrès prévisibles pourront être réalisés à court terme dans le domaine climatique.

Le problème du financement : conditionnalité et adhésion

Les tensions décrites plus haut sont étroitement liées au problème du financement de l'action climatique. Il est généralement admis que les pays à revenu élevé transféreront des ressources au monde en développement dans le but précis de les aider à mener une action d'adaptation, et qu'ils fourniront des financements distincts pour les mesures d'atténuation. Certains points restent toutefois à régler en ce qui concerne les volumes de financement disponibles et leurs sources et aussi les modalités du contrôle des dépenses financées et les bases de ce suivi. Ces questions sont examinées ci-dessous.

Les autorités nationales des pays à revenu élevé tiennent à ce que les ressources que procurent leurs pays servent spécifiquement à financer des mesures d'atténuation ou d'adaptation et produisent une réduction mesurable des émissions ou de la vulnérabilité. Ils souhaitent donc superviser ces ressources, en particulier dans le climat d'austérité budgétaire actuel car les électeurs nationaux peuvent ne guère être favorables à l'envoi de fonds à l'étranger. Cela vaut surtout pour les financements destinés aux mesures d'atténuation. En fait, de nombreux pays à revenu élevé estiment que les ressources publiques ne devraient contribuer que dans une mesure limitée au financement des actions climatiques dans les pays en développement, jugeant préférable qu'une plus grande partie des fonds soit mobilisée par le biais des mécanismes de marché.

Les pays en développement ont une vision totalement différente de la raison d'être de ces financements qui, à leur sens, doivent les aider à s'ajuster à des conditions et à contribuer à atténuer un problème dont ils ne sont nullement responsables. C'est pourquoi ils rejettent toute connotation d'assistance et s'opposent fermement à toute conditionnalité. Ils considèrent au contraire que l'emploi de ces ressources devrait être guidé par les priorités des pays bénéficiaires.

Certains arguments présentés à l'appui de l'une ou l'autre position sont raisonnables. Il y a de bonnes raisons de ne pas replacer les transferts de fonds motivés par le changement climatique dans le contexte de l'aide aux pays en développement car les pays à revenu élevé sont en grande partie responsables du problème. Mais il serait politiquement difficile aux pays à revenu élevé de donner leur blanc-seing sans demander la mise en place de dispositions permettant de rendre compte de l'emploi des fonds. Il pourrait être utile, pour sortir de cette impasse, d'examiner les enseignements qui peuvent être tirés du recours, dans le passé, à la conditionnalité en tant que moyen d'intervention.

Les positions prises par les pays en développement dans le débat climatique s'expliquent en partie par le lourd passé de la conditionnalité dans les débats sur le développement. Pour la société civile et d'autres intervenants, la conditionnalité, un instrument employé pour forcer la mise en œuvre de réformes impopulaires, fragilise la démocratie. Les conditions imposées n'ayant pas contribué de manière particulièrement efficace à aider les gouvernements à entreprendre des réformes politiquement difficiles, la conditionnalité a été abandonnée, moins de dix ans après son adoption, pour faire place concept presque diamétralement opposé de l'« adhésion » de l'emprunteur au programme de réformes, qui est devenue une condition préalable à l'octroi de financements à l'appui de réformes¹². Il semble donc que l'on puisse déduire de cette expérience, aux fins du débat sur le changement climatique – ne serait-ce que pour des raisons purement pratiques, abstraction faite de toute notion de responsabilité – que la conditionnalité n'est tout simple-

ment pas un moyen efficace d'amener les pouvoirs publics à prendre des mesures qui ne recueillent qu'un appui très limité au plan national.

Il existe heureusement une meilleure façon de conceptualiser l'emploi des fonds climatiques. Tout d'abord, au lieu de chercher essentiellement à appliquer des mesures préétablies par un bailleur de fonds, il importe de structurer les financements sur la base d'un processus qui encourage le pays bénéficiaire à formuler et à prendre en main son propre programme de développement sobre en carbone. Cette démarche est similaire à celle des stratégies de réduction de la pauvreté examinées au chapitre 6, dans le cadre desquelles les bailleurs de fonds structurent leur aide sur la base d'une stratégie conçue par le pays bénéficiaire et ayant son adhésion. Cette démarche privilégierait un mécanisme de gouvernance permettant aux bailleurs et aux bénéficiaires des fonds d'examiner et de superviser conjointement le financement de l'action climatique.

Deuxièmement, le financement de l'action d'atténuation doit à la fois promouvoir un développement sobre en carbone et soutenir des mesures d'atténuation bien déterminées dans les pays en développement. Il importe que les prestataires et les bénéficiaires des fonds s'entendent sur des mesures concrètes qui atténuent les effets du changement climatique en même temps qu'elles contribuent au développement. De nombreuses mesures axées sur la maîtrise de l'énergie se prêteraient aisément à la réalisation d'un tel objectif, comme indiqué précédemment.

Il sera plus difficile de trouver un terrain d'entente sur la manière de promouvoir un développement sobre en carbone car le processus est plus flou. L'examen de l'application de la conditionnalité montre toutefois qu'il ne sera possible d'assurer une trajectoire de développement sobre en carbone qu'en suivant une démarche permettant d'obtenir l'adhésion résolue des pays bénéficiaires. Les efforts déployés par un certain nombre de pays, comme le Mexique et l'Afrique du Sud, pour formuler une stratégie à long terme de réduction des émissions de carbone sur la base de laquelle ils identifient des mesures concrètes et sollicitent l'appui de la communauté internationale, constituent un modèle intéressant. La suite de ce chapitre examine les voies qui peuvent être empruntées pour formuler ces approches.

Options proposées pour intégrer l'action menée par les pays en développement dans l'architecture mondiale

Pour que les pays en développement acceptent d'entreprendre rapidement leur transition vers une trajectoire de développement sobre en carbone, il importe de les convaincre qu'il est concrètement possible d'intégrer la lutte contre le changement climatique et le développement. Et pour les encourager à prendre des mesures plus résolues, le régime climatique international doit faire intervenir de

nouvelles approches adaptées à leur situation. Tout effort d'atténuation demandé aux pays en développement doit reposer sur « une bonne appréciation du contexte économique et du cadre de gouvernance de leurs choix et de leurs priorités essentielles de développement¹³ ». Le futur régime doit être conçu de manière à reconnaître les effets déployés par les pays en développement pour réduire leurs émissions alors même qu'ils s'efforcent d'atteindre leurs objectifs de développement.

Dans le régime actuel, la fixation d'objectifs d'émissions par pays qui sont définis par rapport aux niveaux des émissions de l'année de référence, comme dans le Protocole de Kyoto, est le principal instrument de l'action d'atténuation. Cette approche basée sur les quantités de carbone produites (c'est-à-dire la production d'émissions) vise fondamentalement à parvenir à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau tolérable¹⁴. La fixation d'objectifs d'émissions par pays présente deux avantages : elle définit clairement le résultat écologique (à supposer que les objectifs soient atteints), et elle laisse aux pays une latitude considérable pour choisir les moyens d'exécution les mieux adaptés et les plus efficaces au plan des coûts. Cette approche qui est définie par la poursuite d'objectifs précis reste valable pour les pays développés.

Cette démarche, principalement climatique, est toutefois jugée problématique pour les pays en développement, du moins en cette phase du régime climatique. De nombreux pays en développement estiment que plafonner les émissions totales revient à plafonner la croissance économique. Maintenant qu'ils ont prouvé qu'ils pouvaient être compétitifs, ils craignent que le programme climatique ne freine leur croissance. Les principaux facteurs d'accroissement des émissions dans ces pays sont, en effet, la production d'énergie et la croissance économique – deux impératifs du développement. De surcroît, pour fixer un objectif d'émissions à l'échelle nationale et veiller à son respect, il faut pouvoir mesurer, de façon précise et fiable, les émissions des projets réalisés dans l'ensemble de l'économie, ce qui n'est actuellement pas possible dans de nombreux pays en développement.

Pour que les pays en développement s'investissent davantage dans le régime climatique, il peut être nécessaire de poursuivre d'autres démarches, mieux adaptées à leur situation, qui pourraient s'appuyer sur des mesures et des stratégies déjà formulées ou appliquées au niveau national. Contrairement aux objectifs d'émissions, ces interventions peuvent, en général, être considérées s'inscrire dans un programme d'action parce qu'elles portent sur les activités qui produisent des émissions et non sur les émissions proprement dites. Pour assurer la maîtrise de l'énergie, un pays a, par exemple, la possibilité d'adopter une norme ou d'offrir des incitations dans le but de changer les comportements ou les technologies. Une politique de cette nature

permet, bien sûr, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais elle procure aussi des avantages plus étroitement liés aux objectifs de développement prioritaires des pays, tels que l'élargissement de l'accès à une énergie meilleur marché. Les pays pourraient, dans ce contexte, préparer différents programmes d'action en fonction de leur situation, axés sur les objectifs fondamentaux du développement comme la croissance économique, la sécurité énergétique et l'amélioration de la mobilité, qui, de surcroît permettraient de réduire les émissions.

Le problème fondamental consiste toutefois à trouver un moyen de concilier cette approche avec la nécessité impérieuse, comme expliqué au chapitre 4, de prendre immédiatement des mesures d'atténuation à l'échelle mondiale car sinon il ne sera pas possible d'éviter que le réchauffement dépasse largement 2 °C (voir chapitre 4). Les nouvelles analyses des cadres à plusieurs vitesses et de l'impact de la prise d'engagements préalables, présentées ci-après, donnent à penser qu'une démarche souple pourrait s'avérer efficace.

Un cadre climatique intégré à plusieurs vitesses

Pour mieux intégrer les préoccupations de développement dans les efforts déployés face au changement climatique, le régime climatique mondial doit devenir plus souple et prendre en compte des situations et des stratégies nationales différentes, notamment dans le domaine de l'atténuation. Le Protocole de Kyoto ne prévoit qu'un type d'engagement à des fins d'atténuation : le respect d'un plafond d'émission juridiquement contraignant établi à l'échelle nationale. Si cette démarche est judicieuse en termes d'efficacité environnementale et d'efficacité économique, il est peu probable que les pays en développement s'engagent sur cette voie, pour des raisons pratiques et politiques.

Il est possible de concevoir un régime plus souple permettant la poursuite d'approches différentes par des pays différents, qui revêtirait la forme d'un cadre « intégré à plusieurs vitesses »¹⁵. De nombreux régimes internationaux sont structurés de manière similaire. Par exemple, le régime du commerce multilatéral comporte des accords ratifiés par tous les membres de l'Organisation mondiale du commerce et des accords plurilatéraux conclus entre des sous-groupes de pays membres. Le régime européen de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires reposent sur des accords de base qui stipulent les clauses applicables à tous les membres et sur des annexes définissant des obligations différenciées. L'expérience acquise dans ces domaines est riche d'enseignements pour les responsables de l'action climatique, bien que le régime climatique exige une architecture distincte répondant à un ensemble bien particulier d'impératifs politiques et stratégiques.

ENCADRÉ 5.3 *Les approches à plusieurs vitesses donnent de bons résultats au plan de l'efficacité et de l'équité*

Selon le modèle récemment établi par le Joint Global Change Research Institute du Battelle Memorial Institute en collaboration avec le Pew Centre on Global Climate Change, un cadre climatique « intégré à plusieurs vitesses », dans lequel les pays développés s'engagent à atteindre des objectifs d'émission définis au niveau national tandis que les pays en développement s'engagent à poursuivre de nouvelles stratégies ne comportant toutefois pas d'objectifs quantifiés, permettra d'assurer une réduction des émissions mondiales compatible avec l'objectif de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à 450 ppm de CO₂ à l'horizon 2100a. Dans les scénarios proposés à l'échelle mondiale, les régions développées ramènent leurs émissions à un niveau inférieur de 20 % à celui de 2005 d'ici à 2020, et inférieur de 80 % à ce même niveau d'ici à 2050 ; les régions en développement adoptent différents trains de mesures visant les secteurs de l'énergie, du transport, de la production industrielle et du bâtiment, qui consistent à établir des objectifs d'intensité de carbone, des

normes de rendement énergétique et des cibles d'utilisation de sources d'énergies renouvelables). La nature et la rigueur des mesures varient selon les régions en développement, qui reçoivent des crédits d'émissions négociables pour une fraction des réductions d'émissions obtenues grâce à ces mesures (celle-ci sera de 50 % en 2020 mais diminuera par la suite pour devenir nul en 2050).

L'analyse montre que la réduction des émissions mondiales en 2050 est presque aussi importante que celle obtenue dans le scénario de la trajectoire idéale « efficace » qui ramène les concentrations à 450 ppm, dans lequel les réductions d'émissions peuvent être effectuées là et quand elles sont le moins onéreuses grâce à un système illimité d'échange des droits d'émission à l'échelle du monde entier. Globalement, les coûts jusqu'à la fin 2050 sont plus élevés que dans le scénario de la trajectoire efficace, ce qui souligne l'importance, à terme, de prendre en compte la totalité des émissions et de promouvoir un système mondial d'échange de tous les droits d'émission. Cela étant, malgré cette perte d'efficacité, les coûts restent inférieurs à 2 %

du produit intérieur brut (PIB) mondial en 2050. Qui plus est, l'octroi de crédits sur la base des stratégies poursuivies permet de redistribuer les coûts dans le monde ; ces derniers sont donc sensiblement moins élevés en pourcentage du PIB dans les régions en développement. Les premières années, les recettes générées par la vente de droits d'émission sont supérieures aux coûts d'atténuation nationaux dans certaines régions en développement, et engendrent donc des gains économiques nets.

Source : Calvin *et al.* 2009.

a. Le modèle ne couvre pas explicitement la hausse des températures. Une concentration de 450 ppm de CO₂ équivaut cependant à une concentration de l'ordre de 550 ppm de CO₂e (qui mesure le volume total des gaz à effet de serre, pas seulement le volume de CO₂) et, donc, à une augmentation possible des températures d'environ 3 °C. Au moment de la publication du présent rapport, aucun calcul n'avait été fait pour une concentration de 450 ppm de CO₂e ; à ce dernier niveau, la probabilité que le réchauffement reste inférieur à 2 °C est de 40 à 50 %.

De manière générale, un régime climatique à plusieurs vitesses pourrait comporter au moins deux processus d'atténuation différents :

- *Processus d'atténuation basé sur la réalisation des objectifs.* Pour les pays développés et les autres pays disposés à s'engager sur cette voie, il s'agirait d'établir des objectifs d'émissions contraignants au niveau national, en valeur absolue, qui succéderaient aux objectifs fixés pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto. Les pays pour lesquels de tels objectifs auraient été fixés auraient pleinement accès aux mécanismes internationaux d'échange de droits d'émission prévus par l'accord.
- *Processus d'atténuation basé sur un programme stratégique.* Les pays optant pour ce processus d'atténuation s'engageraient à poursuivre des politiques et des mesures ayant leur adhésion, qui auraient pour effet de réduire les niveaux d'émissions ou de ralentir leur progression. Ces programmes, qui seraient poursuivis au niveau sectoriel ou au niveau national, pourraient donner lieu, par exemple, à l'adoption de normes de rendement énergétique, d'objectifs en matière d'énergies renouvelables, de mesures budgétaires et de politiques d'utilisation des terres. Les pays pourraient proposer des trains de mesure

particuliers ou formuler des stratégies générales de développement à faible intensité de carbone identifiant les secteurs et les mesures prioritaires ainsi que l'appui nécessaire pour les mettre en œuvre.

D'après les modèles récemment construits pour représenter ce cadre hybride, les approches à plusieurs vitesses donnent de bons résultats sur le plan de l'efficacité environnementale et de l'équité, et les pertes d'efficacité observées peuvent être un prix raisonnable à payer pour assurer l'adhésion générale à des stratégies qui mettent tous les pays sur la trajectoire requise pour obtenir une concentration de gaz à effet de serre de 450 parties par million (ppm) de CO₂ ou de 550 ppm de CO₂e (encadré 5.3).

D'autres modèles montrent aussi de façon convaincante qu'un cadre à plusieurs vitesses peut être très efficace s'il permet de déterminer dans une certaine mesure le moment où un pays pourra devenir partie à un accord juridiquement contraignant¹⁶. Cette réduction de l'incertitude a pour effet d'abaisser le coût que devra assumer un pays pour devenir partie à un tel accord à l'avenir parce que la période de transition sera plus longue et que les investisseurs pourront prendre leurs décisions en fonction des stratégies qui seront probablement suivies et, ce faisant, réduire les coûts assu-

més, à terme, par ce pays au titre d'actifs devenus improductifs ou d'opérations d'adaptation des équipements existants.

Un accord global devra couvrir, outre les processus d'atténuation :

- un programme d'adaptation pour aider les pays vulnérables à planifier et mettre en œuvre des mesures d'adaptation
- des activités habilitantes plurisectorielles axées sur la fourniture d'un appui aux pays en développement dans les domaines technologiques et financiers et dans celui du renforcement des capacités
- des moyens de mesurer, déclarer et vérifier les mesures d'atténuation des pays en développement, et de soutenir les efforts en ce domaine conformément aux dispositions du Plan d'action de Bali.

Il a été établi au chapitre 4 qu'il sera pratiquement impossible d'éviter que le réchauffement ne soit sensiblement supérieur à 2 °C si les pays en développement tardent à agir. Les cadres à plusieurs vitesses permettent d'intervenir rapidement tout en privilégiant les options qui ne font que des gagnants. Les modèles et les démarches examinés ici montrent que la poursuite d'approches à plusieurs vitesses conjuguée à l'adoption de stratégies tournées vers l'avenir et prévisibles offrent de bons moyens de concilier la nécessité d'agir rapidement et la nécessité de donner la priorité au développement et à la réduction de la pauvreté.

Activités d'atténuation dans le cadre d'un programme stratégique

Pour avoir une vision exacte des efforts d'atténuation déployés par les pays en développement et les promouvoir, il est nécessaire d'incorporer dans le régime climatique une nouvelle catégorie d'actions d'atténuation suffisamment large et souple pour inclure toute une gamme d'interventions. De nombreux pays en développement ont entrepris d'identifier des politiques et des mesures de portée nationale qui ont été prises, ou pourraient l'être, pour des motifs qui, même s'ils ne sont pas exclusivement ou même principalement dictés par les préoccupations climatiques, contribuent néanmoins aux efforts d'atténuation. Ces politiques et mesures ayant une dimension nationale, elles reflètent fondamentalement la situation du pays ainsi que ses objectifs et priorités de développement. De fait, bon nombre d'entre elles sont motivées par la poursuite d'objectifs de développement tels que l'accès à l'énergie et la sécurité énergétique, l'amélioration de la qualité de l'air, l'amélioration des services de transport et une exploitation durable des forêts ; leur effet d'atténuation est un avantage accessoire.

Un mécanisme permettant d'intégrer dans le cadre international des stratégies dictées par des politiques nationales de cet ordre présente quatre avantages pour les pays en développement. Tout d'abord, il donne à ces pays la possibilité de contribuer à l'effort de lutte contre le changement climatique

par des moyens qu'ils jugent compatibles avec leurs objectifs de développement. Ensuite, il permet à chaque pays de présenter un programme défini au plan national, adapté à sa situation, aux moyens dont il dispose et à ses capacités d'adaptation. Troisièmement, s'il est associé à un robuste système de soutien, ce mécanisme permettra aux pays d'intensifier leurs actions ou de procéder par étapes en accroissant l'impact de ces dernières parallèlement à l'augmentation de l'appui qu'ils reçoivent. Enfin, s'il trace une trajectoire de renforcement de l'action d'atténuation des pays en développement, il n'impose pas à ces derniers de plafonds d'émissions contraignants qui, pour ces pays, constituent un obstacle injustifié à leur croissance et à leur développement.

Différents arguments en faveur d'une approche replaçant l'atténuation dans un programme stratégique ont été présentés dans des travaux de recherche. L'un d'entre eux préconise une approche intitulée « politiques et mesures de développement durable » (*sustainable development policies and measures*, ou SD-PAM) qui propose la prise d'engagements volontaires par les pays en développement¹⁷. Une autre parle d'« engagements dans le cadre d'un programme stratégique », et recommande un programme de mesures qui pourrait être identique à celui considéré dans une approche SD-PAM mais qui serait intégré dans le cadre international sous forme d'engagements et non de mesures volontaires¹⁸. Après l'adoption du Plan d'action de Bali, les pays ont présenté des propositions concernant différents aspects du processus à suivre pour concrétiser en termes opérationnels une approche fondée sur un programme stratégique dans le cadre d'un futur accord climatique¹⁹.

Pour pouvoir concevoir une nouvelle démarche fondée sur des programmes stratégiques dans un cadre climatique international évolutif, les pays devront examiner plusieurs questions interdépendantes, notamment :

- le processus que doivent suivre les pays pour présenter leurs politiques et mesures et veiller à leur intégration dans le cadre international
- la nature juridique de ces politiques et mesures
- les liens entre ces politiques et mesures et d'autres mécanismes conçus pour fournir des incitations et un appui à leur mise en œuvre
- les normes et mécanismes de mesure, de déclaration et de vérification des politiques et des mesures prises, et le soutien de ces efforts.

Processus de présentation de mesures stratégiques. Pour que les mesures stratégiques nationales puissent être acceptées dans le cadre international, il faut que les autorités nationales mettent en place une procédure qui leur permette de les présenter et, éventuellement, de les soumettre à l'examen d'autres parties en vue de leur acceptation. Durant les négociations, certaines parties ont proposé de créer un « registre » dans lequel les pays inscrieraient les mesures

d'atténuation adaptées qu'ils prévoient ou proposent de mettre en œuvre²⁰.

Une question cruciale se pose à cet égard : les mesures proposées doivent-elles être présentées durant les négociations d'un nouvel accord ou en sont-elles l'aboutissement ? La deuxième option pourrait être préférable pour la plupart des pays en développement. Dans ce scénario, un nouvel accord établirait des objectifs d'émissions contraignants pour les pays développés, des mécanismes d'appui aux efforts d'atténuation et d'adaptation des pays en développement, et la procédure à suivre par ces derniers pour, à ce stade, définir leurs mesures d'atténuation. Les pays développés pourraient toutefois manifester de la réticence à accepter des objectifs d'émissions contraignants tant que les principaux pays en développement n'auront pas accepté de présenter les mesures qu'ils prendront. Dans ce cas, le processus de formulation de ces mesures pourrait s'inscrire dans le cadre des négociations, l'objectif étant de parvenir à un accord général qui comporte des objectifs contraignants pour les pays développés et des mesures stratégiques bien définies pour les pays en développement.

Dans un cas comme dans l'autre, les parties doivent aussi décider si le processus doit être totalement ouvert, c'est-à-dire ne limiter en aucune manière les catégories de politiques ou de mesures que les pays peuvent proposer ou, au contraire, quelque peu circonscrit. Une option envisagée durant les négociations consiste à établir un menu ou « palette » de mesures d'atténuation pouvant être adoptées par les pays en développement²¹. Le menu en question pourrait se composer de grandes catégories ; les parties seraient invitées à en choisir certaines et à proposer, pour chacune, des mesures ou des plans d'action détaillés. Il pourrait alors être utile, pour assurer la cohérence du processus et permettre d'établir des comparaisons, d'établir des modèles pour faciliter la description par les pays de leurs mesures d'atténuation.

Il importe également de quantifier l'impact escompté des mesures d'atténuation sur les émissions. Bien que les pays qui ont un programme stratégique ne s'engagent pas à atteindre des objectifs d'émission spécifiques, les autres parties voudront connaître l'impact probable de leurs mesures sur leurs émissions. Les pays poursuivant un programme stratégique devraient, à tout le moins, être disposés à présenter des projections. Ces dernières pourraient aussi être établies ou vérifiées par un organe intergouvernemental ou une autre entité indépendante, selon le type de procédure adopté.

Nature juridique. Le Plan d'action de Bali fait une distinction entre « des engagements ou des initiatives d'atténuation appropriés au niveau national » de la part des pays développés et « des mesures d'atténuation appropriées au niveau national » de la part des pays en développement. Cela implique que les mesures prises par les pays en développement ne revêtiront pas la forme d'engagements

juridiquement contraignants. De fait, les propositions formulées par ces derniers pays durant les négociations qui ont suivi la Conférence de Bali, notamment la proposition de création d'un registre des mesures d'atténuation des pays en développement, soulignent le caractère volontaire de ces mesures.

Le Plan d'action de Bali n'exclut toutefois pas expressément la prise d'engagements par des pays en développement, contrairement au Mandat de Berlin de 1995 qui a défini le cadre des négociations débouchant sur le Protocole de Kyoto. Durant le cycle de négociations en cours, certains pays développés ont déclaré que les mesures adoptées par certains pays en développement devraient avoir un caractère contraignant²². Les pays en développement ne sont cependant guère enclins à s'engager dans cette voie, du moins à ce stade.

Liens avec les mécanismes d'appui. Il ne sera possible aux pays en développement de déployer de robustes efforts que si la communauté internationale leur fournit un appui plus résolu. Il est d'ailleurs indiqué, dans le Plan d'action de Bali, que les mesures d'atténuation prises par les pays en développement doivent être « soutenues et rendues possibles par des technologies, des moyens de financement et un renforcement des capacités ». Les mécanismes qui pourraient permettre de mobiliser cet appui sont examinés ci-dessous. Si les parties optent pour l'adoption de programmes d'atténuation stratégiques par les pays en développement, il leur faudra également déterminer comment associer les mesures prises dans le cadre de tels programmes à des flux d'appui particuliers.

Tout processus conçu pour permettre aux pays de proposer des mesures d'atténuation pourrait aussi identifier les moyens d'appuyer ces mesures et l'ampleur de cet appui. Par exemple, un pays inscrivant une proposition dans le registre des mesures d'atténuation pourrait indiquer la nature et le niveau de l'appui nécessaire pour sa mise en œuvre. Un pays pourrait aussi préciser l'intensité de l'effort qu'il est disposé à accomplir au moyen de ses propres ressources et le surcroît d'effort qu'il serait prêt à faire s'il bénéficiait d'un soutien. Il serait également possible d'envisager un scénario dans lequel l'inscription d'une ligne d'action au registre déclenche une procédure d'examen par un organe désigné à cet effet, menée sur la base de critères convenus afin de déterminer l'aide dont le pays concerné a besoin compte tenu de sa situation et de ses capacités. Ces différentes approches permettraient toutes de fournir un appui du niveau requis pour les mesures proposées.

Mesure, notification et vérification. Les parties sont convenues à Bali que les mesures d'atténuation prises par les pays développés et les pays en développement – et le soutien en faveur de l'action menée par ces derniers – doivent être « mesurables, notifiables et vérifiables ». La mise en place

de mécanismes de mesure, notification et vérification efficaces peut susciter la confiance des parties dans les efforts déployés par les autres parties et dans le régime global. Pour bien fonctionner, ces mécanismes doivent concilier les impératifs de transparence et d'obligation de rendre compte et le souci normal des parties de maintenir leur souveraineté.

Dans le régime actuel, les informations que doivent fournir les pays en développement sont relativement limitées – les « communications » nationales (y compris les inventaires des émissions) ne sont pas fréquemment soumises et ne font pas l'objet d'un examen. Il est probable que, dans le cadre d'un nouvel accord, le mécanisme de mesure, notification et vérification des mesures d'atténuation des pays en développement poursuivant un programme stratégique exigera une démarche plus rigoureuse. Les parties doivent commencer par déterminer les actions qui seront mesurées et vérifiées. Certains pays en développement ont fait valoir que le mécanisme de mesure, notification et vérification ne devrait s'appliquer qu'aux activités pour lesquelles ils reçoivent un soutien. Il leur faudra aussi décider si le travail de vérification sera effectué par le pays, un organe international ou une tierce partie. Dans certains régimes internationaux, les parties procèdent elles-mêmes à la vérification de leurs actions en appliquant des systèmes nationaux qui doivent être conformes aux directives internationales. Dans d'autres régimes, des groupes d'experts examinent les informations communiquées par les parties (c'est le cas, notamment, des communications nationales et des inventaires d'émissions soumis par les pays développés conformément à la CCNUCC et au Protocole de Kyoto).

Troisièmement, il importe de déterminer les indicateurs devant être mesurés, quelle que soit la méthode de vérification retenue. L'option des programmes stratégiques se justifie, entre autres, par le fait qu'elle permet aux parties de suivre les lignes d'action les mieux adaptées à leur situation et à leurs objectifs de développement. La diversité des mesures qui s'ensuit crée cependant des problèmes de mesure, notification et vérification car il faut employer des indicateurs différents pour mesurer et vérifier des types d'action différentes (normes de rendement énergétique, objectifs d'utilisation d'énergies renouvelables ou taxes sur le carbone). La structure du mécanisme de mesure, notification et vérification dépend donc dans une très large mesure de la manière dont les lignes d'action sont définies. Ces dernières doivent toutefois, elles aussi, être mesurables et vérifiables, et cet impératif pourrait influencer fortement la manière dont les parties décident de les définir. Replacer les diverses mesures dans des catégories acceptables dans le cadre de programmes stratégiques, par exemple en établissant un menu d'options, pourrait simplifier le processus de mesure, notification et vérification.

La mesure et la vérification de l'appui fourni par les pays développés dépendront, de même, probablement dans une

large mesure, des types et des mécanismes de soutien retenus. Si l'aide accordée par des circuits bilatéraux est prise en compte dans le cadre d'un nouvel accord, il faudra définir des critères pour distinguer les apports « liés au climat » des apports « nouveaux et supplémentaires ». De manière générale, il sera plus facile de vérifier l'appui fourni par le biais d'un instrument multilatéral, comme une taxe internationale sur les émissions de carbone ou la vente aux enchères des quotas d'émission internationaux.

Appui à l'action d'atténuation dans les pays en développement

La capacité des pays en développement de formuler et de mettre en œuvre des mesures d'atténuation efficaces dépendra en partie de la fourniture par la communauté internationale d'un appui adéquat et prévisible. Cet appui s'inscrira dans trois grandes catégories : financements, transfert de technologies et renforcement des capacités, qui pourraient couvrir l'analyse des possibilités d'atténuation dans le but d'identifier les opportunités de réduire les émissions de gaz à effet de serre au moindre coût tout en maximisant les avantages connexes, la formulation et la mise en œuvre des stratégies de réduction de ces émissions, la diffusion et le déploiement des meilleures technologies disponibles, ainsi que la mesure et la vérification des actions d'atténuation et de leur contribution accessoire à un développement durable.

Pour assurer un appui adéquat, il faudra mettre en place une gamme de mécanismes permettant de générer et d'acheminer des fonds publics de manière à pouvoir mobiliser les investissements privés qui, dans tous les scénarios, constituent les principaux flux de ressources disponibles pour financer le passage à un monde sobre en carbone (voir chapitre 6). Les financements nécessaires au régime climatique ont deux sources principales – les fonds publics et les mécanismes basés sur le marché – qui devront, l'une et l'autre, générer des ressources considérablement plus élevées dans le cadre d'un nouvel accord.

Financements publics

Il importera, dans le cadre de tout nouvel effort international, d'accroître considérablement l'ampleur du soutien sous forme de financements publics en faveur des pays en développement. Différentes questions se posent, à cet égard, qui concernent notamment les sources, les critères et les instruments de financement, les liens avec les financements privés, et la gestion et la gouvernance de tout nouveau mécanisme de financement (chacun de ces points est examiné en détail au chapitre 6). La présente section récapitule certaines observations.

La plupart des ressources dégagées dans le cadre du régime climatique résultent des promesses de contribution des pays donateurs, de sorte que les flux générés sont insuffisants et imprévisibles. Plusieurs propositions à l'étude pourraient

produire des flux plus réguliers. Il est suggéré, par exemple, de baser les engagements pris en termes de financements sur des critères d'évaluation convenus, de prélever une taxe sur les transports aériens internationaux ou d'autres activités sources d'émissions de gaz à effet de serre, ou encore de vendre aux enchères une partie des quotas d'émissions internationaux alloués aux pays développés. Une autre option – prônée par les pays en développement à la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques tenue à Poznan (Pologne) en décembre 2008 – consiste à appliquer le système actuel de prélèvements au titre du MDP) aux autres mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto fondés sur le marché (régime international d'échange de droits d'émission et application conjointe)²³.

La création de nouveaux fonds permettrait de déployer différents instruments de financement tels que des subventions, des prêts concessionnels, des garanties de prêt ou autres instruments d'atténuation des risques, selon le type d'activité à financer. Dans le domaine des technologies, il serait possible de facturer l'accès à des technologies couvertes par des droits de propriété intellectuelle ainsi que l'utilisation de ces technologies et le savoir-faire correspondant. Les grands critères de sélection des activités à financer pourraient comprendre, notamment, les projections de la réduction des émissions par dollar investi, la contribution d'un projet aux objectifs de développement durable du pays hôte, ou la capacité d'un projet à mobiliser des financements sur le marché du carbone ou d'autres investissements privés.

Mécanismes fondés sur le jeu du marché

Le Mécanisme pour un développement propre du Protocole de Kyoto mobilise d'importantes ressources à l'appui de la promotion des énergies propres et d'autres projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les pays en développement. Malgré les nombreux résultats positifs obtenus grâce à ce mécanisme, l'expérience a fait ressortir divers points préoccupants et domaines appelant des améliorations (voir chapitre 6). Les parties ont donc entrepris de revoir la structure initiale du MDP, mais elles aussi ont décidé d'examiner la possibilité de recourir à d'autres moyens que l'octroi de crédits d'émissions pour promouvoir la poursuite d'investissements et des efforts de réduction des émissions à plus grande échelle.

Tel qu'il a été conçu et tel qu'il fonctionne actuellement, le MDP génère des crédits d'émissions au titre de projets qui sont proposés et certifiés au cas par cas. Nombreux sont ceux qui estiment que cette approche par projet ne permet pas de poursuivre un grand nombre de stratégies qui pourraient avoir un effet d'atténuation plus important, qu'elle impose des coûts de transaction élevés et une lourde charge administrative et, partant, qu'elle limite considérablement la mesure dans laquelle le MDP pourrait infléchir la trajectoire des émissions à long terme. Pour tenter de remédier

à ces problèmes, les parties ont commencé par approuver l'adoption d'un cadre de « programme » pour le MDP, qui permet de regrouper des activités multiples menées à différents moments et en différents sites. Les réductions d'émissions sont toutefois encore mesurées sur la base d'activités distinctes.

D'autres modèles sont maintenant à l'étude, parmi lesquels l'octroi de crédits d'émissions au niveau de secteurs ou de programmes stratégiques. En permettant que des crédits d'émissions soient générés sur la base de stratégies ou d'autres grands programmes, une approche de ce type encouragerait et soutiendrait le déploiement d'efforts de réduction des émissions à plus grande échelle. Si l'on adoptait une approche sectorielle, par exemple, les émissions seraient mesurées pour tout un secteur national, et des crédits seraient attribués au pays considéré dès lors que les émissions de ce secteur tomberaient à un niveau inférieur à un niveau de référence convenu. (Cette approche est parfois qualifiée de « procédure d'octroi de crédits d'émissions sectoriels sans pénalisation » parce qu'elle ne pénalise pas les pays dont les émissions dépassent le niveau de référence.) Le niveau de référence convenu pourrait être celui du scénario du laisser-faire, auquel cas le pays serait récompensé pour toute réduction par rapport aux niveaux d'émissions indiqués par les projections. Il serait aussi possible de fixer ce niveau en dessous de celui du scénario de laisser-faire, ce qui obligerait les pays à réduire leurs émissions avant d'être admissibles à obtenir des crédits d'émissions. Étant donné les incertitudes dont sont entachées les projections des émissions futures, la définition de ce que représente le laisser-faire est quelque peu subjective et matière à controverse.

Dans un scénario d'octroi de crédits d'émissions dans le contexte d'un programme stratégique, un pays pourrait obtenir des crédits d'émissions au titre des réductions vérifiables résultant de l'application de mesures d'atténuation reconnues dans le cadre du régime climatique ou du déploiement de nouvelles technologies. Cette approche est tout à fait compatible avec le principe d'activités d'atténuation dans le cadre de programmes stratégiques car elle a recours aux mécanismes du marché pour inciter les pays à formuler, proposer et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation qui sont alignées sur leurs objectifs de développement. Des méthodes de calcul des réductions associées à différentes stratégies pourraient aussi être établies. Toutefois, l'octroi de crédits d'émissions au titre de toutes les réductions dues aux mesures prises par les pays pourrait générer une quantité excessive de crédits d'émissions, et les pays développés pourraient s'opposer à cette approche en faisant valoir que les pays en développement doivent assumer au moins une partie du coût de leurs actions. On pourrait toutefois envisager, pour résoudre ce problème, de n'attribuer de crédits d'émissions à un pays qu'à partir d'un certain niveau de réduction, ou d'appliquer une décote (par exemple en

octroyant un crédit d'une tonne pour chaque réduction de deux tonnes).

Promouvoir les efforts internationaux visant à intégrer l'adaptation dans un développement intelligent sur le plan climatique

Le renforcement de l'appui international aux efforts d'adaptation s'impose : les impacts du changement climatique se font déjà sentir et ce sont les pauvres, qui contribuent le moins au problème, qui sont les plus menacés. Mais les efforts d'adaptation ne doivent nullement rester cantonnés dans le cadre climatique. Comme l'indiquent les chapitres 2 et 3, il est nécessaire de prendre en compte les préoccupations et les priorités en matière d'adaptation dans toute la gamme des activités de planification et de prise de décisions économiques et de développement, au niveau national et au niveau international. Le régime climatique mondial a pour rôle, en particulier, de mobiliser l'appui de la communauté internationale et de faciliter les efforts nationaux d'adaptation. L'analyse qui suit a pour objet de définir les meilleures manières de promouvoir et de faciliter l'adaptation dans le cadre du régime climatique international.

Les efforts d'adaptation dans le cadre du régime climatique actuel

Toutes les parties à la CCNUCC se sont engagées à prendre des mesures d'adaptation au niveau national et à coopérer aux efforts déployés pour pouvoir faire face aux impacts du changement climatique. Une attention spéciale est accordée aux pays les moins avancés en raison de leurs besoins particuliers à cet égard²⁴. Ces pays sont encouragés à élaborer un Programme national d'action qui définit les mesures devant être prises en priorité pour répondre à leurs besoins urgents et immédiats d'adaptation et ils bénéficient d'un appui à ce titre en vertu de la Convention (voir chapitre 8). À ce jour, 41 pays classés parmi les moins avancés ont présenté un programme d'action national²⁵. Le Programme de travail de Nairobi (programme quinquennal adopté en 2005) vise à aider ces pays à mieux comprendre et évaluer les conséquences du changement climatique et à décider en connaissance de cause des mesures concrètes d'adaptation qui s'imposent²⁶.

En vertu du processus établi par la CCNUCC, le financement de l'adaptation s'effectue à présent essentiellement dans le cadre des initiatives du Fonds pour l'environnement mondial axées sur sa priorité stratégique « adaptation » ; le Fonds pour l'adaptation au changement climatique de la CCNUCC dégagera des ressources supplémentaires lorsqu'il sera pleinement opérationnel.

Les efforts déployés jusqu'ici par la communauté internationale ont permis, dans une certaine mesure, de fournir des informations et de renforcer les capacités en matière d'adaptation ; en revanche, ils n'ont pas contribué à faciliter

des actions notables de mise en œuvre au niveau national, l'accès aux technologies ou la mise en place des institutions nationales nécessaires pour donner une suite concrète au programme d'adaptation. Ces efforts sont entravés par le manque de fonds (voir chapitre 6) et la participation limitée des organismes nationaux de planification et de développement. Le processus de la CCNUCC se déroule généralement par le biais des entités chargées des questions environnementales ; l'accent mis sur le changement climatique pourrait ne pas se prêter à un effort d'adaptation multisectoriel et de grande envergure.

Renforcement de l'action d'adaptation dans le cadre de la CCNUCC

Il est essentiel d'agir dans le cadre du processus de développement national pour encourager la planification au plus tôt de mesures qui renforcent la capacité de protection contre les chocs climatiques et pour décourager les investissements qui accroissent la vulnérabilité au changement climatique. Le processus de la CCNUCC peut compléter et faciliter cette démarche de plusieurs manières qui consistent à :

- *Appuyer des stratégies nationales d'adaptation détaillées dans les pays vulnérables.* Ces stratégies définiraient des cadres d'action et renforceraient les capacités nationales. Elles s'appuieraient sur les Programmes d'action nationaux pour l'adaptation, qui visent les priorités immédiates, pour établir des plans d'ensemble à long terme identifiant les risques climatiques, les capacités d'adaptation existantes et nécessaires, ainsi que les politiques nationales et les mesures à mettre en œuvre pour intégrer pleinement la gestion des risques climatiques dans le processus de prise de décisions axées sur le développement. Outre qu'elles permettraient d'organiser les efforts nationaux d'adaptation, ces stratégies pourraient servir de base au ciblage de l'assistance fournie à la mise en œuvre par le biais du régime climatique ou par d'autres circuits.
- *Échanger les données d'expérience et les meilleures pratiques, et coordonner l'organisation des actions menées dans le cadre de programmes pour soutenir les systèmes d'adaptation et de protection contre les chocs climatiques au niveau national, régional et international²⁷.* Ces initiatives permettraient de guider les pays dans leurs efforts d'évaluation de la vulnérabilité et d'intégration des activités d'adaptation dans le cadre de la planification et des politiques de développement sectoriels et nationaux, tout en facilitant l'accès aux technologies d'adaptation. De par son caractère universel, la CCNUCC est un forum unique permettant aux pays, aux organisations et aux entités privées de se retrouver pour se faire part de leur expérience et de leur savoir. Il est essentiel que les organismes nationaux de développement participent à ce processus pour obtenir des résultats. Il pourrait être utile de compléter

la diffusion de l'information dans le cadre du processus de la CCNUCC en créant des centres d'excellence régionaux pour catalyser les activités au niveau local, national et régional. Le changement climatique faisant sentir son impact direct au niveau local, il faut que les interventions soient adaptées aux conditions locales. Avec l'appui de la communauté internationale, des centres régionaux pourraient promouvoir le renforcement des capacités, coordonner les activités de recherche et échanger les données d'expérience et les meilleures pratiques.

- *Apporter des financements fiables aux pays pour qu'ils puissent prendre les mesures hautement prioritaires définies dans leur stratégies nationales d'adaptation.* Le financement des mesures d'adaptation provient en grande partie de sources publiques (voir chapitre 6). Pour que l'effort d'adaptation soit efficace, il est essentiel de trouver de nouvelles sources de financement et d'intégrer leurs apports dans les ressources actuellement consacrées au développement. Ces apports pourraient provenir de bailleurs de fonds ou être générés par des prélèvements au titre du MDP, une taxe frappant les émissions ou la vente aux enchères des droits d'émission. Il est tout aussi important de définir des critères d'affectation des fonds et de mettre en place des dispositifs institutionnels appropriés pour gérer ces fonds (voir chapitre 6). Il est dans l'intérêt de tous que les ressources d'adaptation soient attribuées et utilisées de manière efficace et équitable ; un emploi inapproprié de ces fonds pourrait compromettre l'adhésion du public à l'ensemble du programme d'action climatique.

Il pourrait être nécessaire de créer un nouvel organe dans le cadre de la CCNUCC pour fournir des directives aux parties, évaluer les stratégies nationales d'adaptation et formuler des critères d'allocation des ressources. Un tel organe devra collaborer étroitement avec d'autres organismes internationaux ayant une mission de développement et être suffisamment indépendant pour pouvoir évaluer de manière crédible l'allocation des ressources et les stratégies nationales.

Comme indiqué au début de ce chapitre, le régime actuel de la CCNUCC ne comporte pas de dispositions adéquates pour l'adaptation. Le Plan d'action de Bali offre une excellente occasion de rationaliser le processus d'adaptation et de mobiliser des ressources appropriées pour soutenir cette action.

Notes

1 Les émissions de sources énergétiques ont augmenté de 24 % entre 1997 (lorsque le Protocole de Kyoto a été signé) et 2006 ; voir la base de données du CDIAC (DOE 2009).

2 Le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) gère des projets et des investissements par le biais de divers organismes multilatéraux. Il est aussi le mécanisme financier des conventions internationales relatives à l'environnement, notamment la CCNUCC. Le FEM a fourni 17,2 milliards de dollars au titre de cofinancements ; voir FEM 2009.

3 Cette section est tirée de Dubash 2009.

4 Une réduction en valeur absolue des émissions implique une diminution nette des émissions par rapport aux niveaux actuels, par opposition à un changement de la trajectoire décrite par les projections des émissions.

5 Baer, Athanasiou et Kartha 2007. Voir également l'encadré 5.2.

6 Baumert et Winkler 2005.

7 Burtraw *et al.* 2005 ; Barrett 2006.

8 Ce point est examiné dans le Thème A (Bases scientifiques du changement climatique) et au chapitre 4.

9 Proposition de l'Union européenne à la CCNUCC, http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/ecredd191108.pdf (consulté le 5 août 2009).

10 Propositions de l'Inde et de la Chine à la CCNUCC, http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/indiasharedvisionv2.pdf et http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/china240409b.pdf (consulté le 6 juillet 2009). La perspective de la société civile est exposée dans Third World Network, « Understanding the European Commission's Climate Communication », <http://www.twinside.org.sg/title2/climate/info.service/2009/climate.change.20090301.htm> (consulté le 8 juillet 2009).

11 Par exemple, selon le McKinsey Global Institute (2008), une action centrée sur six domaines d'intervention pourrait contribuer à

« *Travaillons tous ensemble . . . maintenant, avant qu'il ne soit trop tard pour sauver notre Terre.* »

— Sonia R. Bhayani, Kenya, 8 ans



Tewanat Saypan, Thaïlande, 12 ans

hauteur de 40 % environ aux possibilités de réduction identifiées par la méthode de la courbe des coûts de l'Institut.

12 Dollar et Pritchett 1998.

13 Heller et Shukla 2003.

14 Heller et Shukla 2003.

15 Bodansky et Diringer 2007.

16 Blanford, Richels et Rutherford 2008; Richels, Blanford et Rutherford (à paraître).

17 Winkler *et al.* 2002.

18 Lewis et Diringer 2007.

19 Voir par exemple les propositions de l'Afrique du Sud (http://unfccc.int/files/meetings/dialogue/application/pdf/working_paper_18_south_africa.pdf) et de la République de Corée (<http://unfccc.int/resourcement/docs/2006/smsn/parties/009.pdf>) à la CCNUCC (consulté en juin 2009).

20 Propositions de l'Afrique du Sud et de la République de Corée à la CCNUCC : <http://unfccc.int/resourcement/docs/2006/smsn/parties/009.pdf>, (consulté en juin 2009).

21 Proposition de l'Afrique du Sud à la CCNUCC : http://unfccc.int/files/meetings/dialogue/application/pdf/working_paper_18_south_africa.pdf (consulté en juin 2009).

22 Par exemple, dans leurs propositions à la CCNUCC, les États-Unis et l'Union européenne indiquent que les principaux pays en développement doivent s'engager à formuler des stratégies à faible intensité de carbone en vue de les présenter à la CCNUCC. Voir UNFCCC/AWGLCA/2009/MISC.4 sur le site <http://unfccc.int/resourcement/docs/2009/awglca6/eng/misc04p02.pdf> (consulté le 5 août 2009).

23 Akanle *et al.* 2008. Voir http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/items/1673.php (consulté le 8 juillet 2009) pour des informations sur les mécanismes de flexibilité prévus dans le Protocole de Kyoto.

24 Article 4.1 de la CCNUCC.

25 Secrétariat de la CCNUCC, http://unfccc.int/cooperation_support/least_developed_countries_portal/submitted_napas/items/4585.php (consulté le 5 août 2009).

26 Décision 2/CP.11 de la CCNUCC.

27 Groupe d'experts scientifiques sur le changement climatique (SEG 2007).

Bibliographie

Akanle, T., A. Appleton, D. Bushey, K. Kulovesi, C. Spence et Y. Yamineva, *Summary of the Fourteenth Conference of Parties to the UN Framework Convention on Climate Change and Fourth Meeting of Parties to the Kyoto Protocol*, International Institute for Sustainable Development, New York, 2008.

Baer, P., T. Athanasiou et S. Kartha, *The Right to Development in a Climate Constrained World: The Greenhouse Development Rights Framework*, fondation Heinrich Böll, Christian Aid, EcoEquity et le Stockholm Environment Institute, Berlin, 2007.

Barrett, S., « Managing the Global Commons », in *Expert Paper Series Two: Global Commons*, Secretariat of the International Task Force on Global Public Goods, Stockholm, 2006.

Baumert, K. et H. Winkler, « Sustainable Development Policies and Measures and International Climate Agreements », in *Growing in the Greenhouse: Protecting the Climate by Putting Development First*,

R. Bradley et K. Baumert, World Resources Institute, Washington, 2005.

Blanford, G. J., R. G. Richels et T. F. Rutherford, « Revised Emissions Growth Projections for China: Why Post-Kyoto Climate Policy Must Look East », document de travail de la Kennedy School, juin 2008, Harvard Project on International Climate Agreements, Cambridge, 2008.

Bodansky, D. et E. Diringer : « Towards an Integrated Multi-Track Framework », Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2007.

Burtraw, D., D. A. Evans, A. Krupnick, K. Palmer et R. Toth : « Economics of Pollution Trading for SO₂ and NO_x », document de travail, mai 2005, resources for the Future, Washington, 2005.

Calvin, K., L. Clarke, E. Diringer, J. Edmonds et M. Wise, « Modeling Post-2012 Climate Policy Scenarios », Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2009.

CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), *Caring for Climate: A Guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol*, CCNUCC, Bonn, 2005.

DOE (U.S. Department of Energy) : « Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) », Oak Ridge, 2009.

Dollar, D. et L. Pritchett, *Assessing Aid: What Works, What Doesn't and Why*, Presse Universitaire d'Oxford, Oxford, 1998.

Dubash, N., « Climate Change through a Development Lens », document d'information de la WDR 2010, 2009.

GEF (Global Environment Facility), « Focal Area: Climate Change », Fact Sheet, GEF, Washington, juin 2009.

Heller, T. et P. R. Shukla, « Development and Climate Change: Engaging Developing Countries », in *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort against Climate Change*, ed. J. E. Aldy, J. Ashton, R. Baron, D. Bodansky, S. Charnovitz, E. Diringer, T. C. Heller, J. Pershing, P. R. Shukla, L. Tubiana, F. Tudela et X. Wang, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2003.

Jiahua, P. et C. Ying : « Towards a Global Climate Regime », in *China Dialogue*, 10 décembre. <http://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/2616>, 2008.

Lewis, J. et E. Diringer : « Policy-Based Commitments in a Post-2012 Framework », document de travail, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2007.

McKinsey Global Institute, *The Carbon Productivity Challenge: Curbing Climate Change and Sustaining Economic Growth*, McKinsey & Company 2008.

Meyer, A., *Contraction and Convergence: The Global Solution to Climate Change*, Green Books pour la Schumacher Society, Totnes, 2001.

Richels, R. G., G. J. Blanford et T. F. Rutherford, « International Climate Policy: A Second Best Solution for a Second Best World? » in *Climate Change Letters*, à paraître.

SEG (Scientific Expert Group on Climate Change), *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, Sigma Xi et la Fondation des Nations Unies, Washington, 2007.

Winkler, H., R. Spalding-Fecher, S. Mwakasonda et O. Davidson, « Sustainable Development Policies and Measures: Starting from Development to Tackle Climate Change », in *Building on the Kyoto Protocol: Options for Protecting the Climate*, K. A. Baumert, O. Blanchard, S. Llosa et J. Perkaus, World Resources Institute, Washington, 2002.

Les interactions entre le régime du commerce international et le régime climatique mondial pourraient avoir des répercussions majeures sur les pays en développement. S'il existe de bonnes raisons d'explorer les synergies qui peuvent exister entre les deux régimes et d'établir un cadre de politique apte à stimuler la production et les échanges de technologies propres ainsi que les investissements dans ces dernières, en pratique, les efforts ont essentiellement porté sur l'utilisation de mesures commerciales à des fins de sanction dans le cadre des négociations climatiques mondiales.

Cette optique de sanction s'explique principalement par le souci de rester compétitif des pays qui s'efforcent maintenant fiévreusement de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre pour atteindre les objectifs de Kyoto 2012 et de l'après 2012. Ces préoccupations, auxquelles s'ajoute la possibilité d'une « fuite » des industries à forte intensité de carbone vers les pays qui n'appliquent pas le Protocole de Kyoto, se sont métamorphosées en propositions d'ajustement des droits de douane et des taxes à la frontière pour compenser tout impact défavorable associé à la limitation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

Le régime du commerce mondial et celui du climat ont tous deux pour objectif général d'améliorer le bien-être de l'humanité, maintenant et à l'avenir. À l'instar de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) (OMC) reconnaît l'importance de chercher à « protéger et préserver l'environnement »¹, le Protocole de Kyoto, qui reconnaît l'importance d'œuvrer « en vue à la fois de protéger et préserver l'environnement »², le Protocole de Kyoto indique que les parties doivent s'efforcer « d'appliquer les politiques et les mesures ... de manière à réduire au minimum les effets négatifs ... sur le commerce international ». La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) reprend cette idée en plusieurs endroits, et le Communiqué de Doha note que « les objectifs consistant à maintenir et à préserver un système commercial multilatéral ouvert et non discrimi-

natoire, et à œuvrer en faveur de la protection de l'environnement et de la promotion du développement durable peuvent et doivent se renforcer mutuellement.³ » Les deux traités reconnaissent et respectent donc leurs mandats respectifs.

Toutefois, les programmes concernant le climat et le commerce ont évolué, pour l'essentiel, indépendamment l'un de l'autre au cours des années, malgré des objectifs qui se renforcent mutuellement et des synergies exploitables. Bien que la mise en œuvre du Protocole de Kyoto ait fait ressortir certains conflits entre la croissance économique et la protection de l'environnement, la poursuite des objectifs du Protocole offre également une opportunité d'aligner les politiques de développement et de l'énergie de manière à stimuler la production et le commerce de technologies propres ainsi que les investissements dans des programmes faisant appel à ces technologies.

Les efforts récemment déployés pour rapprocher les deux programmes ont été accueilli avec beaucoup de scepticisme. Si les ministres du Commerce qui se sont réunis en 2007 dans le contexte de la Conférence des Parties à la CCNUCC tenue à Bali se sont largement accordés sur le fait que les régimes du commerce et du climat peuvent se renforcer mutuellement dans plusieurs domaines, ils ont aussi noté qu'ils pouvaient être sources de tensions, en particulier dans le contexte des négociations des engagements climatiques pour l'après 2012.

Les pays en développement s'accordent largement à penser que tout examen des questions relatives au changement climatique (et, de manière plus générale, des questions environnementales) dans le cadre des négociations commerciales pourrait déboucher sur l'adoption d'un « protectionnisme vert » par les pays à revenu élevé, qui compromettrait leurs perspectives de croissance. Ils s'opposent donc aux efforts déployés pour inclure les aspects climatiques dans le programme de commerce en faisant valoir que les questions de changement climatique relèvent essentiellement de la CCNUCC et qu'elles doivent donc être négociées dans son cadre. Même au sein de l'OMC, on observe une réticence générale à élargir l'action climatique en l'absence d'une directive de la CCNUCC. Il est donc intéressant de noter que, malgré tous les discours tenus, de plus en plus d'accords commerciaux régionaux (dont un grand nombre ont été conclus avec des pays en développement) comportent maintenant des dispositions environnementales détaillées. Il n'est toutefois guère possible d'affirmer qu'ils ont contribué réellement à obtenir des résultats positifs pour l'environnement⁴. Les accords de commerce régionaux ne sont peut-être pas non plus le contexte approprié pour s'attaquer à des questions environnementales, comme le changement climatique, qui exigent des réponses de portée mondiale.

Évolution récente de la situation

La proposition de recourir à des sanctions commerciales punitives pour promouvoir l'application de mesures climatiques nationales continue de susciter beaucoup d'intérêt et a encore gagné du terrain par suite de la crise financière. Tous les projets de loi récemment présentés au Congrès des États-Unis dans les domaines de la politique énergétique et de la politique climatique comportent des dispositions prévoyant l'imposition de sanctions commerciales ou la perception de droits de douane (ou tout instrument équivalent) sur certains biens provenant des pays qui n'imposent pas de limites aux émissions de carbone. Dans le même ordre d'idées, la Commission européenne reconnaît que les nouveaux textes de loi associés aux plans qu'elle a élaborés pour accroître la rigueur du régime de réduction des émissions de gaz à effet de serre en Europe pourraient désavantager, sur le marché, les sociétés européennes par rapport aux entreprises de pays dont les lois axées sur la protection climatique sont moins rigoureuses.

L'adoption de mesures aux frontières pour des motifs environnementaux fait l'objet de nombreuses études économiques et juridiques. Les accords de l'OMC et autres accords commerciaux prévoient « des exceptions » pour des mesures commerciales qui, sinon, violeraient les règles du libre-échange, lorsqu'elles peuvent être justifiées par la nécessité de protéger l'environnement ou de conserver des ressources naturelles épuisables ou lorsqu'elles sont liées à des efforts déployés pour ces motifs, à condition qu'elles aient un caractère « non discriminatoire » et qu'elles imposent « le moins de restriction possible au commerce »⁵. Les mesures commerciales sont souvent justifiées par le fait qu'elles constituent un mécanisme assurant le respect des accords environnementaux multilatéraux (AEM). De fait, des AEM comme

la Convention sur le commerce international des espèces menacées d'extinction et la Convention de Bâle ont recours à des restrictions commerciales pour atteindre leurs objectifs et ces restrictions sont acceptées par toutes les parties aux accords. Toutefois, il est particulièrement difficile, lorsque l'on s'efforce de déterminer la compatibilité de la politique de lutte contre le changement climatique et des mesures commerciales, de résoudre le problème que peut poser l'adoption de mesures unilatérales fondées sur les politiques nationales ou des normes de produits basés sur les procédés et méthodes de production, ou encore les deux. Les « ajustements fiscaux à la frontière » soulèvent, par ailleurs, un autre problème qui n'a guère attiré l'attention et qui concerne leurs produits financiers. L'économie politique pourra être fort différente selon que les montants générés par ces ajustements seront intégralement reversés aux pays imposés ou demeureront dans le pays qui impose la taxe.

Les juristes ne parviennent toutefois pas à s'entendre sur la compatibilité d'une taxe sur le contenu carbone avec les règlements relatifs au commerce parce que, jusqu'à présent, l'OMC n'a pas émis de dispositions précises en la matière. Néanmoins, les propositions récemment formulées pourraient avoir des répercussions importantes sur le commerce des produits manufacturés dans les pays en développement (encadré TC.1).

De nombreux pays à revenu élevé se sont également déclarés préoccupés par le fait que tout plan qui aurait pour effet de dispenser les pays en développement du respect des limites d'émission ne serait guère efficace puisque les industries à forte intensité de carbone n'auraient qu'à déplacer leurs opérations pour les installer dans un pays exempté. Les fuites de carbone, expression employée pour désigner ce type de délocalisation, non seulement iraient à l'encontre des avantages environnementaux que peut procurer le

Protocole de Kyoto mais aussi auraient un impact sur la compétitivité des industries des pays à revenu élevé. Pour les industries à forte intensité d'énergie comme la production de ciment et de produits chimiques, la compétitivité internationale est une question importante qui fait pendant aux débats sur les « refuges pour pollueurs » omniprésents dans les études consacrées au commerce et à l'environnement dans les années 90.

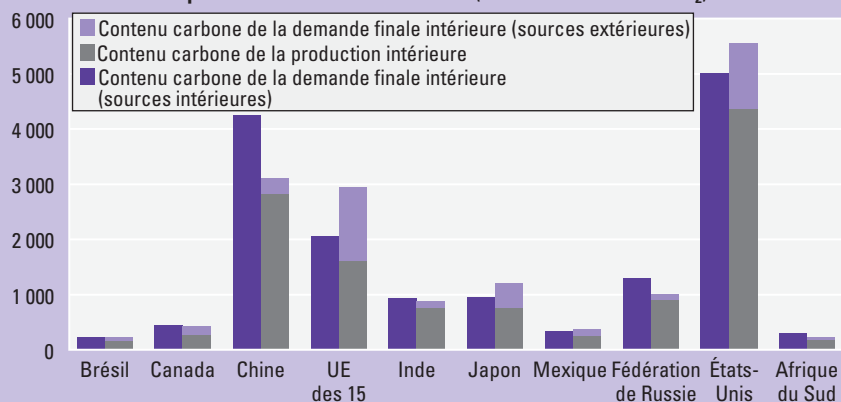
La Banque mondiale a récemment consacré une étude à l'examen des informations disponibles sur les relocalisations d'industries à forte intensité de carbone imputables à l'adoption de politiques climatiques plus rigoureuses, en particulier dans les pays à revenu élevé. Les opérations des secteurs à forte intensité d'énergie sont généralement fonction, bien sûr, du coût des terrains et de la main-d'œuvre, mais aussi du prix relatif de l'énergie. Dans l'étude de la Banque, les ratios importations-exportations de produits à forte intensité d'énergie dans les pays à revenu élevé et dans les pays à revenu faible et intermédiaire sont utilisés comme valeur de remplacement de tout déplacement des structures de production et des flux commerciaux (figure TC.1) Banque mondiale 2008⁶. Les ratios importations-exportations affichent une tendance à la hausse dans le cas des pays à revenu élevé et une tendance à la baisse pour les pays à revenu faible et intermédiaire. Bien que cette analyse ne soit pas concluante, elle permet de penser que la relocalisation d'industries à forte intensité d'énergie dans les pays qui ne sont pas assujettis à des limites d'émissions de gaz à effet de serre se produit déjà dans une certaine mesure. Ce ratio demeure néanmoins inférieur à un pour les pays à revenu élevé et reste supérieur à un pour les économies en développement : les pays à revenu élevé sont donc toujours des exportateurs nets et les pays en développement des importateurs nets de produits à forte intensité d'énergie.

ENCADRÉ TC.1 La taxation du contenu carbone

Faut-il imposer les émissions de carbone là où elles se produisent, ou faut-il imposer le « contenu carbone » c'est-à-dire la quantité de carbone émise durant le processus de production et le transport de produits, au lieu de consommation de ces produits ? Les gros exportateurs sont nombreux à faire valoir qu'ils seraient pénalisés par la taxation du carbone au lieu d'émission alors que, en pratique, la majeure partie de ce carbone est émis durant la production de biens d'exportation – c'est-à-dire de biens dont jouissent des consommateurs d'autres pays. L'analyse des flux de carbone à partir d'un tableau d'entrées-sorties multirégional montre que la Chine et la Fédération de Russie sont des exportateurs nets de contenu carbone tandis que l'Union européenne, les États-Unis et le Japon sont des importateurs nets. Toutefois, les pays imposant une taxe sur le carbone seront confrontés à un problème de compétitivité et de fuite de carbone si les autres pays ne suivent pas leur exemple, et ils pourraient envisager d'imposer les importations de contenu carbone pour égaliser leurs chances. Le tableau indique les taux d'imposition effectifs en sus des taux en vigueur qui frapperaient les pays si le contenu carbone des biens et services importés était assujéti à une taxe de 50 dollars la tonne de CO₂.

Le chiffre de 50 dollars la tonne de CO₂ est réaliste puisque le prix des permis d'émissions délivrés dans le cadre du système d'échanges de quotas d'émissions

Émissions liées à la production et à la consommation (millions de tonnes de CO₂)



Source : Atkinson et al. 2009.

Note : les barres violet foncé indiquent le montant total des émissions générées par la production des biens et services ; la barre grise représente la quantité de carbone émise dans le pays pour répondre à la demande finale intérieure (contenu carbone de sources intérieures) ; les barres mauves montrent combien de carbone est émis à l'étranger pour répondre à la demande finale intérieure (contenu carbone de sources extérieures). Si la hauteur de la barre violet foncé est supérieure à la somme des hauteurs des deux autres barres indiquées pour un pays, cela signifie que ce pays est un exportateur net de contenu carbone.

dans la Communauté européenne était de 35 euros en 2008. Il s'ensuit, sur la base du tableau, que les taux des droits frappant le contenu carbone des exportations des pays en développement pourraient être élevés si ce système est adopté.

L'imposition unilatérale de droits de douanes sur le contenu carbone créerait toutefois manifestement des tensions entre les partenaires commerciaux et compromettrait un système de commerce international déjà secoué par la crise financière que traverse actuellement le monde. Permettre la perception de taxes aux frontières au titre du climat

pourrait provoquer l'adoption de multiples mesures commerciales dans d'autres domaines où les conditions de concurrence ne sont pas jugées égales pour tous. Il serait aussi extrêmement difficile de mesurer exactement le contenu carbone et les résultats obtenus pourraient être contestés. Par ailleurs, l'imposition de droits d'entrée sur le contenu carbone pourrait pénaliser des pays à faible revenu qui n'ont guère contribué au problème du changement climatique.

Source : Atkinson et al. 2009.

Moyenne des droits de douane sur les importations de biens et services avec un carbone virtuel taxé à 50 dollars la tonne de CO₂ (en pourcentage)

| | | Pays importateurs | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|--------|-------|-----------|------|-------|---------|----------------------|------------|----------------|---------|
| | | Brésil | Canada | Chine | EU des 15 | Inde | Japon | Mexique | Fédération de Russie | États-Unis | Afrique du Sud | Moyenne |
| Pays exportateurs | Brésil | 0,0 | 3,4 | 3,2 | 3,2 | 2,8 | 4,0 | 2,7 | 2,6 | 3,0 | 2,9 | 3,1 |
| | Canada | 4,5 | 0,0 | 3,4 | 3,4 | 3,7 | 3,2 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 3,0 | 2,8 |
| | Chine | 12,1 | 10,5 | 0,0 | 10,5 | 13,4 | 10,4 | 9,9 | 10,0 | 10,3 | 11,1 | 10,5 |
| | EU des 15 | 1,6 | 1,1 | 1,1 | 0,0 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | Inde | 8,3 | 7,8 | 9,2 | 7,7 | 0,0 | 6,8 | 8,1 | 8,7 | 7,9 | 5,3 | 7,8 |
| | Japon | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 0,0 | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
| | Mexique | 3,5 | 2,1 | 4,2 | 4,0 | 10,8 | 4,0 | 0,0 | 4,1 | 1,7 | 3,5 | 2,1 |
| | Fédération de Russie | 18,0 | 14,3 | 12,4 | 11,8 | 12,8 | 11,3 | 14,7 | 0,0 | 10,4 | 15,9 | 11,7 |
| | États-Unis | 3,3 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 0,0 | 3,2 | 3,0 |
| | Afrique du Sud | 15,9 | 10,1 | 10,6 | 9,8 | 11,5 | 11,4 | 16,6 | 7,9 | 8,9 | 0,0 | 10,1 |
| | Moyenne | 3,7 | 2,9 | 2,2 | 5,0 | 4,5 | 4,8 | 3,3 | 2,6 | 3,0 | 2,9 | |

Source : Atkinson et al. 2009.

Note : La dernière colonne est le tarif moyen pondéré par les échanges frappant le pays exportateur ; le dernier rang est le tarif moyen pondéré par les échanges frappant le pays importateur.

Dans la même optique, les entreprises de certains pays à revenu élevé adoptent un système d'« étiquetage carbone » des produits pour atténuer le changement climatique. Cet étiquetage carbone consiste à mesurer les émissions de carbone associées à la production de biens ou de services et à transmettre cette information aux consommateurs et à ceux qui décident des sources d'approvisionnement dans les entreprises. Il se peut qu'un mécanisme bien conçu incite des producteurs à différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement à se déplacer vers des sites où les émissions sont plus faibles. L'étiquetage carbone pourrait ainsi donner aux consommateurs qui le souhaitent le moyen de se joindre à la lutte contre le changement climatique en affichant leurs préférences par le biais de leurs achats.

L'inconvénient des mécanismes d'étiquetage carbone tient à l'impact significatif qu'ils auront probablement sur les exportations des pays à faible revenu⁷. Certains ont fait valoir, en effet, que ces pays auront de plus grandes difficultés à exporter leur production vers des pays appliquant des règles climatiques qui exigent de mesurer les émissions de carbone et de les faire certifier pour pouvoir participer au commerce de produits avec étiquetage carbone. Les produits exportés par les pays à faible revenu sont généralement transportés sur de longues distances et sont produits par des entreprises de taille relativement limitée ou par de très petites exploitations agricoles qui auront du mal à participer à des mécanismes complexes d'étiquetage carbone.

La structure des émissions de carbone tout au long des chaînes d'approvisionnement internationales auxquelles participent des pays à faible revenu est mal connue et des études scientifiques devront être consacrées à cette question pour combler les importantes lacunes qui demeurent. Les quelques études menées dans ce domaine laissent penser que

le profil des émissions est extrêmement complexe et font ressortir un fait très important : le lieu géographique, considéré indépendamment de tout autre facteur, est une mauvaise variable de remplacement des émissions car des conditions de production favorables peuvent largement compenser les inconvénients associés aux transports. Par exemple, les émissions de carbone générées par la production de roses sont très nettement inférieures pour les fleurs cultivées au Kenya et transportées par fret aérien jusqu'aux marchés européens que celles des roses cultivées aux Pays-Bas.

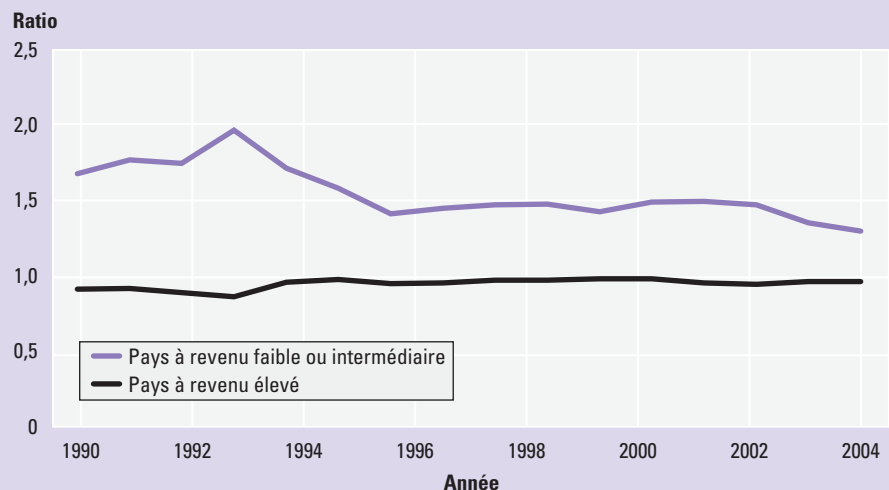
Il importera aussi de considérer un certain nombre de défis techniques complexes aux stades de la conception et de la mise en œuvre d'un programme d'étiquetage carbone⁸. Premièrement l'utilisation de données secondaires provenant des producteurs de pays riches pour estimer les émissions de carbone des producteurs des pays à faible revenu ne permettra pas de tenir compte du fait que les pays riches et les pays à faible revenu utilisent des technologies très différentes. Deuxièmement, l'utilisation des facteurs d'émission, c'est-à-dire le montant de carbone émis à un stade

particulier du processus de fabrication et de l'utilisation des produits, et la manière dont il importe de les calculer, pose des difficultés techniques. Troisièmement, le choix du cadre d'analyse, qui définit les processus inclus dans l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre, revêt une grande importance. Les estimations de l'empreinte carbone d'un système, d'un produit ou d'une activité dépendront en effet de la définition de ce cadre d'analyse.

Un programme d'actions positives

Le transfert de technologies est, depuis quelques temps, un autre domaine commun au régime du commerce et au régime climatique. Le Mécanisme de développement propre ne se prêtant pas réellement à des transferts de technologies du type et de l'ampleur nécessaires pour lutter contre l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans le monde en développement (voir chapitre 6), il a été suggéré que l'élargissement de la portée des règles de commerce et de la réglementation des investissements pourrait être un moyen d'accélérer ces transferts⁹. La libéralisation du commerce

Figure TC.1 Ratios importations-exportations des produits à forte intensité énergétique enregistrés pour les pays à revenu élevé et pour les pays à revenu faible et intermédiaire



Source : Banque mondiale 2008.

des biens et services environnementaux a toujours figuré à l'ordre du jour du cycle des négociations de Doha de l'OMC. Tous les membres de l'OMC s'accordent à reconnaître que la libéralisation des biens environnementaux devraient avoir pour objectif de protéger l'environnement. Les progrès accomplis restent néanmoins minimes parce que les pays à faible revenu et les pays en développement n'ont pas la même idée des biens qu'il convient de libéraliser et de la manière de procéder à cette opération.

Des efforts ont été déployés, notamment par la Banque mondiale¹⁰, pour faire progresser ces négociations en identifiant des biens et services respectueux du climat qui se heurtent actuellement à des obstacles tarifaires et non tarifaires, et en faisant de l'élimination de ces obstacles une priorité des négociations de l'OMC. Cet objectif s'est avéré très difficile à atteindre, parce que les membres de l'OMC ne sont pas encore parvenus à s'entendre sur une définition de l'expression « respectueux du climat » qui contribue à la fois à promouvoir les objectifs de la politique climatique et à assurer une répartition équilibrée des avantages commerciaux entre les États membres. Deux éléments sont particulièrement controversés : les technologies à « double usage » qui peuvent servir à réduire les émissions mais aussi à satisfaire d'autres besoins de consommation, et les produits agricoles, dont les négociations dans le cadre du cycle de Doha sont engluées dans d'incessantes querelles.

Le potentiel considérable des échanges de technologies propres entre pays en développement (commerce Sud-Sud) est un autre aspect de la question dont il est souvent fait abstraction. Jusqu'à présent, les pays en développement étaient généralement des importateurs, et les pays à revenu élevé des exportateurs, de technologies propres. Toutefois, par suite de l'amélioration de leur climat de l'investissement et de l'ampleur considérable de leur base de

consommateurs, les pays en développement commencent à s'imposer dans le domaine de la fabrication des technologies propres¹¹. Le marché mondial de l'électricité éolienne a été marqué par l'arrivée sur la scène de la Chine et la place importante qu'elle occupe désormais tant au niveau de la fabrication de produits qu'à celui de l'investissement dans des capacités d'énergie éolienne supplémentaires. D'autres pays en développement commencent eux aussi à produire des technologies d'énergies renouvelables. La capacité de production d'énergie photovoltaïque solaire de l'Inde s'est considérablement accrue au cours des quatre dernières années, tandis que le Brésil reste le premier producteur mondial de biocarburants. C'est pourquoi il importe de libéraliser le commerce bilatéral en technologies propres, qui pourrait aussi dynamiser les transferts de technologie Sud-Sud à l'avenir.

La voie de l'avenir dans le domaine du commerce et dans celui du changement climatique

Les pays hésitent généralement à rapprocher le régime du commerce et le régime climatique de peur que l'un ne domine l'autre. Cela est regrettable parce que le commerce des technologies relatives aux énergies propres pourrait être source d'opportunités économiques pour les pays en développement qui sont en train de devenir d'importants producteurs et exportateurs de ce type de technologie.

Il est possible de réaliser des progrès dans le cadre du régime du commerce, même dans des domaines très complexes. Le succès remporté par l'OMC en 1997 avec l'Accord sur les technologies de l'information permet de penser que la mise en œuvre de tout accord sur des biens et des technologies qui ne nuisent pas au climat devra se dérouler de manière progressive pour permettre aux pays en développement de poursuivre un processus graduel de libéralisation qui donne lieu, notamment, à l'amélioration de l'efficacité

de leurs administrations des douanes et à l'harmonisation des classifications douanières des biens respectueux du climat. Il serait bon que de telles actions bénéficient d'un appui financier et d'une assistance technique. Il serait malavisé de reporter toute décision concernant le programme commercial et le programme climatique à une nouvelle série de négociations prolongées de l'OMC, une fois le cycle de Doha achevé, car le risque de l'imposition de sanctions commerciales axées sur le climat du type de celle que proposent les États-Unis et l'Union européenne est imminent.

Si les mesures commerciales liées au climat sont assez dures, les pays en développement pourront chercher à les alléger dans le cadre des négociations commerciales et climatiques, à moins qu'ils ne décident de s'adapter aux nouvelles normes établies par leurs principaux partenaires commerciaux pour continuer d'avoir accès à leurs marchés. Dans tous les cas, ils devront se doter des capacités requises pour mieux comprendre l'évolution de la situation et y faire face. On ne saurait, par ailleurs, trop insister sur la nécessité de promouvoir des transferts financiers et technologiques dans le cadre de tout accord mondial sur le commerce et le changement climatique.

Si le rapprochement des régimes du commerce et du climat peut offrir de nombreux avantages, il importe de ne pas sous-estimer l'impact négatif que pourraient avoir sur le régime commercial international des mesures telles que l'imposition unilatérale de taxes aux frontières sur le carbone, d'autant plus qu'elles frapperont les pays en développement de manière disproportionnée. Il est donc dans l'intérêt des pays en développement de s'assurer que la poursuite d'objectifs climatiques mondiaux cadre avec le maintien d'un système de commerce multilatéral équitable et ouvert, dont le fonctionnement obéit à des règles et sur lequel ils peuvent baser leur croissance et leur développement. Les

pays développés ont aussi beaucoup à gagner du système de commerce multilatéral et il leur incombe d'assumer la plus grande part des responsabilités du maintien de ce système.

Notes

1 Préambule de l'accord de Marrakech instituant l'Organisation mondiale du commerce en 1995.

2 Préambule de l'Accord de Marrakech portant création de l'OMC en 1995.

3 Cité dans Banque mondiale 2008.

4 Gallagher 2004.

5 Voir l'Article XX (b) et (g) de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce de 1947. OMC 1986.

6 Banque mondiale 2008.

7 Brenton, Edwards-Jones, et Jensen 2009.

8 Brenton, Edwards-Jones, et Jensen 2009.

9 Brewer 2007.

10 Banque mondiale 2008

11 Banque mondiale 2008.

Références bibliographiques

Atkinson, G., Hamilton, K., Ruta, G. et van der Mensbrugge, D., « Trade in 'Virtual Carbon': Empirical Results and Implications for Policy », document d'information pour la WDR 2010, 2009.

Banque mondiale, *International Trade and Climate Change: Economic, Legal and Institutional Perspectives*, Banque mondiale, Washington, 2008.

Brenton, P., Edwards-Jones, G. et Jensen, M., « Carbon Labeling and Low Income

Country Exports: An Issues Paper », *Development Policy Review* 27 (3), p. 243-267, 2009.

Brewer, T. L., « Climate Change Technology Transfer: International Trade and Investment Policy Issues in the G8+5 Countries », document présenté au Dialogue sur le changement climatique du G8+5, Université de Georgetown, Washington, 2007.

Gallagher, K. P., *Free Trade and the Environment: Mexico, NAFTA and Beyond*, Presse Universitaire de Stanford, Palo Alto, 2004.

OMC (Organisation mondiale du commerce), Texte du GATT (General Agreement on Tariffs and Trade) de 1947, OMC, Genève, 1986.



Générer les financements nécessaires à l'atténuation et à l'adaptation

Les pays développés doivent jouer un rôle moteur dans la lutte contre le changement climatique. Toutefois, leurs efforts d'atténuation ne seront ni efficaces ni rationnels si les pays en développement ne prennent pas eux aussi des mesures en ce domaine. Tels sont les deux idées-force des précédents chapitres. La problématique climatique a néanmoins une dimension supplémentaire, qui revêt une importance cruciale : l'équité. Une approche équitable de la réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre doit tenir compte du fait que les pays en développement ont des besoins de développement légitimes, que le changement climatique risque de compromettre leur développement et qu'ils n'ont guère jusqu'ici contribué au problème.

Idée force

Le financement de l'action climatique est un moyen de concilier l'équité, l'efficacité et la rationalité dans le cadre des actions menées pour réduire les émissions et s'adapter au changement climatique. Les niveaux de financement actuels sont toutefois loin de pouvoir suffire face aux estimations des besoins : les flux globaux actuels de ressources destinées aux pays en développement sont de 10 milliards de dollars par an alors que les montants indiqués par les projections des besoins à l'horizon 2030 sont de l'ordre de 30 à 100 milliards de dollars pour l'adaptation et de 140 à 175 milliards de dollars (auxquels s'ajoutent des besoins de financement de 265 à 565 milliards de dollars) pour l'atténuation. Pour combler cet écart, il faudra procéder à une réforme du marché du carbone actuel et trouver de nouvelles sources de financement telles que des taxes sur le carbone. La tarification du carbone transformera le financement de l'action climatique au niveau national, mais il restera néanmoins nécessaire de procéder à des transferts financiers internationaux et de réaliser des transactions sur droits d'émissions pour éviter que la croissance et la lutte contre la pauvreté dans les pays en développement ne soient compromises dans un monde où des limites sont imposées aux émissions de carbone.

Les apports de fonds des pays développés aux pays en développement au titre de l'action climatique, que ce soit sous forme de transferts budgétaires ou de transactions sur droits d'émissions, sont le principal moyen de concilier les objectifs d'équité, d'efficacité et de rationalité dans la lutte contre le changement climatique. Ces fonds peuvent aider les pays en développement à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à s'adapter aux effets du changement climatique. Le développement et la diffusion de technologies nouvelles généreront par ailleurs des besoins de financement. Les efforts d'atténuation et d'adaptation ainsi que le déploiement des technologies devront être menés de manière à permettre aux pays en développement de poursuivre leur croissance et de réduire la pauvreté. Il est donc d'une importance cruciale d'assurer à ces pays des flux de financement supplémentaires.

Les financements requis pour faire face aux besoins d'atténuation, d'adaptation et de transfert de technologies sont considérables. Les mesures d'atténuation dans les pays en développement pourraient coûter entre 140 et 175 milliards de dollars par an au cours des 20 prochaines années (et donner lieu à des besoins de financement de 265 à 565 milliards de dollars) ; sur la période 2010-2050, les investissements annuels dans des mesures d'adaptation pourraient être compris, en moyenne, entre 30 et 100 milliards de dollars (après arrondissement), alors que l'aide au développement se chiffre aujourd'hui à quelque

100 milliards de dollars par an. Or les efforts déployés pour mobiliser des fonds aux fins d'atténuation et d'adaptation n'ont permis de lever que l'équivalent de moins de 5 % des besoins indiqués par les projections, ce qui est très loin du compte.

Par ailleurs, les instruments de financement existants sont inadaptés à certains égards et présentent des lacunes notables. Les ressources publiques provenant des pays à revenu élevé sont fragmentées et tributaires des cycles politiques et budgétaires. Malgré les réalisations qu'il a permises, le Mécanisme pour un développement propre (MDP), jusqu'ici la principale source de financement de l'action d'atténuation dans les pays en développement, présente des insuffisances au niveau structurel ainsi que des points faibles aux niveaux opérationnel et administratif. L'ampleur des ressources qui pourront être levées aux fins d'adaptation par le biais du MDP, qui procure actuellement au Fonds pour l'adaptation l'essentiel de ses revenus, sont donc également limitées.

Il faudra donc trouver de nouvelles sources de financement. Les États souverains devront certes intervenir, mais il sera tout aussi important de créer des mécanismes de financement novateurs et de mobiliser des capitaux privés. Le secteur privé aura un rôle clé à jouer dans le financement de l'action d'atténuation, par le biais du marché du carbone et d'instruments connexes. Les apports de capitaux privés devront néanmoins être complétés par des apports de fonds publics et autres financements internationaux pour renforcer les capacités, remédier aux imperfections du marché et cibler des domaines négligés par le marché. Les capitaux privés joueront aussi un rôle important pour l'adaptation parce que celle-ci sera essentiellement le fait d'agents privés – les ménages et les entreprises. La réussite de l'effort d'adaptation est cependant indissociable de celle de l'action de développement, et ce sont les pauvres et les groupes défavorisés dans les pays en développement qui auront le plus besoin d'aide pour s'adapter. Les financements publics joueront donc un rôle crucial.

Il sera essentiel, bien sûr, de mobiliser des financements additionnels mais aussi d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles. Cela signifie qu'il faudra à la fois exploiter les synergies avec les flux financiers actuels, notamment l'aide au développement, et coordonner la mise en œuvre des actions menées. Étant donné l'ampleur des déficits de financement, la diversité des besoins, et les situations différentes des pays, il sera nécessaire de pouvoir recourir à un large éventail d'instruments. Il faudra aussi répondre aux impératifs d'efficacité et de rationalité en mobilisant et en dépensant les ressources consacrées à l'action climatique de manière cohérente.

Les besoins de financement dépendront du champ d'application de l'accord international sur le changement climatique qui pourra être conclu, et du moment où il le

sera. La facture des mesures d'adaptation sera directement fonction de l'efficacité de cet accord. S'agissant de l'adaptation, le chapitre 1 montre que repousser la mise en œuvre de mesures de réduction des émissions, dans les pays développés comme dans les pays en développement, risque d'accroître considérablement le coût des actions nécessaires pour limiter l'ampleur du réchauffement de la planète. Il est indiqué, dans l'abrégé, que pour que le monde suive une trajectoire de stabilisation au moindre coût, une grande partie des mesures d'atténuation (au moins 65 %¹) devront être prises dans les pays en développement. Les pays à revenu élevé pourraient donc réduire sensiblement les coûts associés à la limitation du réchauffement mondial en offrant aux pays en développement les incitations financières requises pour qu'ils se placent sur une trajectoire de développement plus sobre en carbone. Toutefois, comme le soulignent les autres chapitres, pour y parvenir, il faudra non seulement assurer aux pays en développement des financements mais aussi faciliter leur accès aux technologies et renforcer leurs capacités.

Le présent chapitre examine les moyens de mobiliser suffisamment de ressources pour réduire les émissions et faire face aux effets des changements inévitables. Il évalue l'écart entre les besoins de financement des mesures d'atténuation et d'adaptation indiqués par les projections et les financements disponibles à l'horizon 2012. Il examine les inefficacités des instruments actuels de financement de l'action climatique ainsi que les sources de financement qui pourraient venir s'ajouter aux sources actuelles (tableau 6.1). Enfin, il présente des modèles pour accroître l'efficacité des dispositifs existants, en particulier le Mécanisme pour un développement propre, et pour allouer les fonds d'adaptation. Tout au long de ce chapitre, l'analyse porte sur les besoins de financement des pays en développement dans un cadre défini par les impératifs d'efficacité, de rationalité et d'équité.

Le déficit de financement

Pour mener une action climatique efficace, il faudra dépenser des milliers de milliards. Le montant exact des coûts engendrés dépendra de l'ampleur et du mode d'organisation de l'action menée au niveau international, du calendrier des mesures prises, de l'efficacité de la mise en œuvre, des lieux dans lesquels les mesures d'atténuation sont exécutées et de la manière dont les fonds sont mobilisés. Ces coûts seront assumés par la communauté internationale, les gouvernements nationaux, les collectivités locales, les entreprises et les ménages.

Le besoin de financements

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), qui examine les estimations de coût dans son quatrième rapport d'évaluation, il pourrait falloir

Tableau 6.1 Instruments actuels de financement de l'action climatique

| Type d'instrument | Atténuation | Adaptation | Recherche, développement et déploiement |
|---|---|---|--|
| Recours aux mécanismes du marché pour réduire le coût des actions climatiques et créer des incitations | Échanges de droits d'émission (MDP, mise en œuvre conjointe, contributions volontaires), certificats d'énergies renouvelables échangeables, instruments de la dette (obligations) | Assurance (pools, indices, dérivés climatiques, obligations catastrophe), facturation des services des écosystèmes, instruments de la dette (obligations) | |
| Ocroti de ressources et de financements concessionnels (prélèvements et contributions, notamment aide publique au développement et philanthropie) pour essayer de nouveaux instruments, intensifier et catalyser l'action, et fournir le capital d'amorçage nécessaire à la mobilisation du secteur privé. | FEM, FTP, UN-REDD, FIP, FCPF | Fonds pour l'adaptation, FEM, Fonds PMA, SCCF, PPCR et autres fonds bilatéraux et multilatéraux | FEM, FEM/IFC Fonds pour la planète, GEEREF |
| Autres instruments | Incitations budgétaires (allègements fiscaux sur les investissements, prêts bonifiés, taxes ou subventions ciblées, crédits à l'exportation), normes (y compris étiquetage), prix d'encouragement et garanties de marché, et accords sur les échanges et les technologies | | |

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde.

Note : MDP = Mécanisme pour un développement propre ; FTP = Fonds pour les technologies propres ; FCPF = Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation ; FIP = Programme d'investissement forestier ; GEEREF = Fonds mondial pour la promotion de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables (Union européenne) ; FEM = Fonds pour l'environnement mondial ; IFC = Société financière internationale ; Fonds PMA = Fonds pour les pays les moins avancés (CCNUCC/FEM) ; PPCR = Programme pilote pour la résistance aux chocs climatiques ; SCCF = Fonds spécial pour les changements climatiques (CCNUCC/FEM) ; UN-REDD = Fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier des Nations Unies.

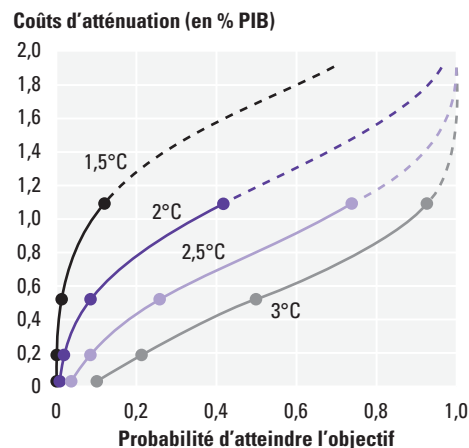
consacrer entre 1 % et 3 % du PIB pour réduire de 50 % les émissions mondiales de gaz à effet de serre à l'horizon 2050². La plupart des experts estiment qu'il s'agit là du pourcentage de réduction minimal nécessaire pour avoir une chance raisonnable de stabiliser le réchauffement de la planète aux alentours de 2 °C au-dessus des températures préindustrielles (voir l'abrégié).

Les coûts d'atténuation sont toutefois sensibles aux choix qui sont faits au niveau de l'action climatique. Ils augmentent très rapidement dès lors que l'on cherche à atteindre un objectif de réduction des émissions plus ambitieux et que l'on veut avoir une probabilité plus élevée d'atteindre cet objectif (figure 6.1). Le coût total des mesures d'atténuation sera également plus élevé si le monde s'écarte de la trajectoire de réduction des émissions au moindre coût. Comme l'expliquent les chapitres précédents, la facture mondiale sera beaucoup plus lourde si les pays en développement ne sont pas inclus dans les efforts d'atténuation dès le départ (c'est pour cette raison que le Mécanisme pour un développement propre a été mis en place dans le cadre du Protocole de Kyoto). De même, le fait d'ignorer certaines possibilités d'atténuation alourdira fortement la facture globale.

Il importe également de faire une distinction entre les coûts d'atténuation (c'est-à-dire le surcoût d'un projet à faible intensité de carbone durant sa durée de vie) et les nouveaux investissements requis (c'est-à-dire les besoins de financement supplémentaires engendrés par le projet). Étant donné que les investissements dans les technologies propres demandent généralement une importante mise de

fonds initiale, même s'ils permettent par la suite de réduire les coûts d'exploitation, le surcroît de financement requis est généralement supérieur aux coûts calculés sur la durée de vie de l'investissement dans les modèles d'atténuation (ils peuvent être jusqu'à trois fois plus élevés, comme le montre le tableau 6.2). Ces lourds coûts d'équipement initiaux pourraient contribuer à dissuader les pays en développement, dont les ressources budgétaires sont limitées, de réaliser des investissements dans des technologies à faible intensité de carbone.

Figure 6.1 Les coûts d'atténuation annuels augmentent avec la rigueur de l'objectif fixé pour la hausse des températures et la probabilité d'atteindre cet objectif



Source : Schaeffer et al., 2008.

Tableau 6.2 Estimations des besoins de financement annuels de l'action climatique dans les pays en développement
Milliards d'USD de 2005

| Source des estimations | 2010-20 | 2030 | |
|---|------------------|------------------|--|
| Coûts d'atténuation | | | |
| McKinsey & Company | | 139 | |
| Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) | | | |
| Besoins de financement au titre de l'atténuation | | | |
| International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) | 63-165 | 264 | |
| International Energy Agency (IEA) Energy Technology Perspectives | | 565 ^a | |
| McKinsey & Company | 300 | 563 | |
| Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) | | 384 | |
| Coûts d'adaptation | | | |
| | 2010-2015 | 2030 | Mesures |
| Court terme | | | |
| Banque mondiale | 9-41 | | Coût de la mise à l'épreuve du changement climatique : aide au développement et investissement étranger et intérieurs |
| Stern Review | 4-37 | | Coût de la mise à l'épreuve du changement climatique : aide au développement et investissement étranger et intérieurs |
| Programme des Nations Unies pour le développement | 83-105 | | Mêmes mesures que la Banque mondiale, plus coût de l'adaptation des Documents de stratégie de réduction de la pauvreté et renforcement des interventions en cas de catastrophe |
| Oxfam | > 50 | | Mêmes mesures que la Banque mondiale, plus coût des Programmes d'action nationaux pour l'adaptation et des projets menés par des organisations non gouvernementales |
| Moyen terme | | | |
| Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) | | 26-67 | Horizon 2030 : coûts dans : agriculture, foresterie, approvisionnement en eau, santé, protection du littoral et infrastructure |
| Project Catalyst | | 15-37 | Horizon 2030 : coût du renforcement des capacités, recherche, gestion des catastrophes et secteurs couverts par la CCNUCC (pays les plus vulnérables et secteur public uniquement) |
| Banque mondiale (EACC) | | 75-100 | Coûts d'adaptation annuels moyens pour la période 2010-2050 dans les secteurs suivants : agriculture, foresterie, pêche, infrastructure, gestion des ressources en eau et protection des zones côtières, y compris impacts sur la santé, services des écosystèmes et effets des phénomènes météorologiques extrêmes. |

Sources : Pour l'atténuation, IIASA 2009 et données supplémentaires communiquées par V. Krey ; AIE 2008 ; McKinsey & Company 2009 et données supplémentaires communiquées par McKinsey (J. Dinkel) pour 2030, converties au taux de change de 1,25 dollar pour 1 euro ; chiffres PNNL : Edmonds *et al.* 2008, et données supplémentaires communiquées par J. Edmonds et L. Clarke ; chiffres PIK : Knopf *et al.* (à paraître), et données supplémentaires communiquées par B. Knopf ; pour l'adaptation : Agrawala et Fankhauser 2008 pour tous les chiffres sauf Banque mondiale EACC (Economics of Adaptation to Climate Change) : Banque mondiale 2009 ; et Project Catalyst 2009.

Note : Les estimations sont effectuées sur la base d'une stabilisation des gaz à effet de serre à 450 ppm de CO₂e, pour laquelle la probabilité de maintenir le réchauffement de la planète à moins de 2 °C à l'horizon 2100 est de 40 à 50 %.

a. Les chiffres de l'AIE sont des moyennes annuelles pour la période allant jusqu'à 2050.

Le tableau 6.2 indique les surcoûts et les besoins de financement connexes des mesures d'atténuation requises pour stabiliser les concentrations de CO₂e (la somme des émissions de gaz à effet de serre exprimées en équivalent de dioxyde de carbone) à 450 parties par million (ppm) au cours de la prochaine décennie, ainsi que le montant estimé des investissements nécessaires à l'adaptation à l'horizon 2030. Si l'on retient l'objectif de 450 ppm, les coûts d'atténuation dans les pays en développement seront de l'ordre de 140 à 175 milliards de dollars par an et les besoins de

financement connexes seront compris entre 265 et 565 milliards de dollars par an à l'horizon 2030. Quant aux coûts d'adaptation, les estimations qui se prêtent le mieux à des comparaisons sont les projections à moyen terme de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et de la Banque mondiale, qui se situent entre 30 et 100 milliards de dollars.

Un grand nombre, mais non la totalité, des besoins d'adaptation recensés, nécessiteront des financements publics. Selon le Secrétariat de la CCNUCC³, le secteur privé pourrait

ENCADRÉ 6.1 Estimation des coûts d'adaptation au changement climatique dans les pays en développement

Une étude publiée par la Banque mondiale en 2009 sur l'économie de l'adaptation au changement climatique contient les estimations les plus récentes et les plus complètes des coûts d'adaptation dans les pays en développement. Les éléments clés de l'étude, qui présente des études de cas par pays ainsi que des estimations mondiales, sont les suivants :

Champ d'application. Les domaines couverts par l'étude sont l'agriculture, la foresterie, la pêche, les infrastructures, la gestion des ressources en eau et les zones côtières (l'étude examine, dans chacun de ces secteurs, les impacts sur la santé humaine et sur les services des écosystèmes) et les effets des phénomènes météorologiques extrêmes.

Le secteur des infrastructures est ventilé en sous-secteurs : transports, énergie, eau et assainissement, communications et infrastructures urbaines et sociales.

Base de référence. Les estimations ne tiennent pas compte du « déficit d'adaptation » actuel, c'est-à-dire de la mesure dans laquelle l'adaptation des pays à la variabilité climatique actuelle est incomplète ou sous-optimale.

Niveau d'adaptation. Pour la plupart des secteurs, l'étude estime les coûts associés au rétablissement du bien-être au niveau qu'il aurait en l'absence de changement climatique.

Incertitude. Pour donner une idée des conséquences extrêmes du changement climatique, l'étude utilise les résultats

de modèles de circulation générale en remplaçant les projections des conditions climatiques, des plus humides aux plus sèches, dans le scénario A2 du GIEC décrivant les évolutions socioéconomiques et les trajectoires d'émissions possibles.

Sur la base de ces éléments, l'étude produit des estimations indicatives du coût total de l'adaptation au changement climatique dans les pays en développement, qui vont de 75 à 100 milliards de dollars par an en moyenne sur la période 2010-2050a.

Source : Banque mondiale 2009.
a. En dollars constants de 2005.

financer environ 25 % des investissements identifiés, mais il est peu probable que ce chiffre prenne en compte l'intégralité des investissements privés au titre de l'adaptation.

Bien qu'elles donnent un ordre de grandeur des coûts d'adaptation, ces estimations ne sont ni vraiment exactes ni complètes. Elles reposent essentiellement sur des calculs empiriques du coût des mesures visant à protéger les infrastructures futures des effets du changement climatique. Elles sous-estiment la diversité des mesures d'adaptation qui seront probablement prises et ne prennent pas en compte les changements de comportements, l'évolution des pratiques opérationnelles, le déplacement des centres d'activité économique ni les innovations qui se produiront. Elles font également abstraction de la nécessité de s'adapter aux effets non marchands du changement climatique, notamment sur la santé humaine et sur les écosystèmes naturels. Certaines options laissées pour compte pourraient alléger la facture de l'adaptation (par exemple, en évitant de coûteux investissements structurels), tandis que d'autres l'alourdiraient⁴. Les estimations ne tiennent pas non plus compte des dommages résiduels qui ne pourront être évités même si les efforts d'adaptation sont efficaces. L'encadré 6.1 décrit une étude récemment menée pour tenter d'incorporer ces complexités dans le calcul des coûts d'adaptation.

Les estimations des coûts d'adaptation ne prennent pas non plus en considération le lien étroit qui existe entre l'adaptation et le développement. Bien que cela ne ressorte clairement que dans un petit nombre d'études, elles mesurent le surcoût des mesures d'adaptation au changement climatique par rapport aux dépenses qui seraient de toute façon consacrées à des investissements résistant aux condi-

tions climatiques, par exemple pour faire face à l'impact de l'augmentation des revenus et de la croissance démographique ou pour réduire un déficit d'adaptation préexistant. Mais dans la pratique, il n'est pas facile de faire la distinction entre le financement des mesures d'adaptation et le financement de l'action de développement. Les investissements dans l'éducation, la santé, l'assainissement et la sécurité des moyens de subsistance, par exemple, constituent de bons choix de développement. Ils contribuent également à réduire la vulnérabilité socioéconomique aux chocs climatiques et non climatiques. Il ne fait aucun doute que, à court terme, l'aide au développement fournira des fonds complémentaires probablement indispensables pour combler le déficit d'adaptation, réduire les risques climatiques et accroître la productivité économique. Il faudra néanmoins aussi mobiliser des ressources supplémentaires aux fins d'adaptation.

Le montant des financements disponibles à ce jour pour l'action d'atténuation

Au cours des prochaines décennies, des milliers de milliards de dollars seront consacrés à la modernisation et au développement des infrastructures énergétiques et de transport. Ces investissements massifs offrent une opportunité d'orienter de manière décisive l'économie mondiale vers une trajectoire sobre en carbone ; ne pas la saisir pourrait verrouiller l'avenir de la planète dans des modes de fonctionnement à forte intensité de carbone. Comme l'expliquent les chapitres précédents, il faut orienter les nouveaux investissements dans l'infrastructure vers des réalisations à faible teneur en carbone.

Ces investissements devront être financés à la fois par le secteur public et par le secteur privé. Il existe déjà de

Tableau 6.3 Crédits carbone susceptibles d'être générés par les projets MDP et recettes correspondantes à l'horizon 2012, par région

| Par région | Millions d'unités de réduction certifiée des émissions ^a | USD millions | Pourcentage du total |
|--|---|---------------|----------------------|
| Asie de l'Est et Pacifique | 871 | 10 453 | 58 |
| Chine | 786 | 9 431 | 52 |
| Malaisie | 36 | 437 | 2 |
| Indonésie | 21 | 252 | 2 |
| Europe et Asie centrale | 10 | 119 | 1 |
| Amérique latine et Caraïbes | 230 | 2 758 | 15 |
| Brésil | 102 | 1 225 | 7 |
| Mexique | 41 | 486 | 3 |
| Chile | 21 | 258 | 1 |
| Argentine | 20 | 238 | 1 |
| Moyen-Orient et Afrique du Nord | 15 | 182 | 1 |
| Asie du Sud | 250 | 3 004 | 17 |
| Inde | 231 | 2 777 | 16 |
| Afrique subsaharienne | 39 | 464 | 3 |
| Nigéria | 16 | 191 | 1 |
| Pays développés | 85 | 1 019 | 6 |
| Par niveau de revenu | | | |
| Revenu faible | 46 | 551 | 3 |
| Nigéria | 16 | 191 | 1 |
| Revenu intermédiaire, tranche inférieure | 1 127 | 13 524 | 75 |
| Chine | 786 | 9 431 | 53 |
| Inde | 231 | 2 777 | 16 |
| Indonésie | 21 | 252 | 2 |
| Revenu intermédiaire, tranche supérieure | 242 | 2 906 | 16,6 |
| Brésil | 102 | 1 125 | 7 |
| Mexique | 41 | 486 | 3 |
| Malaisie | 36 | 437 | 2 |
| Chili | 21 | 258 | 1 |
| Argentine | 20 | 238 | 1 |
| Revenu élevé | 85 | 1 019 | 6 |
| Corée, Rép. de | 54 | 653 | 4 |
| Total | 1 500 | 18 000 | 100 |

Source : PNUF 2008.

Note : Les volumes comprennent les projets abandonnés ou rejetés.

a. 1 million d'unités de réduction certifiée des émissions = 1 million de tonnes de CO₂e.

nombreux instruments à cet effet (tableau 6.1), qui auront tous un rôle de catalyseur à jouer dans l'action climatique, en mobilisant des ressources supplémentaires, en réorientant les flux de financements publics et privés vers des investissements sobres en carbone et à l'épreuve du changement climatique, en appuyant la recherche-développement et en déployant des technologies non préjudiciables au climat.

Le secteur public financera essentiellement les grands projets d'infrastructure, tandis qu'une grande partie des investissements nécessaires pour créer une économie à faible intensité de carbone – qu'ils visent des équipements à haut rendement énergétique, des voitures moins polluantes ou les énergies renouvelables – proviendra du secteur privé. À l'échelle mondiale, les finances publiques couvrent aujourd'hui moins de 15 % des investissements d'un pays, bien que l'État contrôle la plupart des investissements dans les infrastructures qui déterminent les opportunités concernant les produits à haut rendement énergétique.

Il existe différents moyens d'encourager l'investissement privé dans des projets d'atténuation⁵ mais le Mécanisme pour un développement propre (MDP) est le principal instrument de marché auquel peuvent participer les pays en développement. Le MDP a permis de lancer plus de 4 000 projets de réduction des émissions à ce jour. D'autres mécanismes similaires, tels que la Mise en œuvre conjointe (l'équivalent du MDP pour les pays industrialisés) et les marchés libres du carbone, jouent un rôle important dans certaines régions (pays en transition) et secteurs (foresterie) mais ils ont une bien moindre envergure. Dans le cadre du MDP, les activités de réduction des émissions dans les pays en développement peuvent générer des « crédits carbone » – mesurés par rapport à une norme de référence convenue et vérifiés par un organe indépendant opérant sous l'égide de la CCNUCC – qui sont échangés sur le marché du carbone. Par exemple, une société d'électricité européenne peut acquérir des crédits de réduction des émissions (par achat direct ou sous la forme d'une aide financière) provenant d'une aciérie chinoise qui lance un projet de maîtrise de l'énergie.

Les revenus financiers générés par le MDP sont modestes par rapport aux montants qui devront être levés pour faire face aux besoins d'atténuation. Mais ils sont, à ce stade, la principale source de financement de l'atténuation dans les pays en développement. Entre 2001, année de lancement des premiers projets du MDP, et 2012, date d'expiration de la première période d'engagement du Protocole de Kyoto, le MDP devrait avoir généré des réductions d'émissions de l'ordre de 1,5 milliard de tonnes d'équivalent de dioxyde de carbone (CO₂e) grâce, essentiellement, à des projets d'énergies renouvelables, de maîtrise de l'énergie et de substitution de combustibles. Les revenus directement tirés du carbone par les pays en développement pourraient se chiffrer à 18 milliards de dollars (entre 15 et 24 milliards de dollars), selon le prix du carbone (tableau 6.3)⁶. En

outre, chaque dollar supplémentaire généré sur le marché du carbone permet de mobiliser 4,60 dollars en moyenne, voire même jusqu'à 9 dollars dans le cas de certains projets d'énergies renouvelables. Selon les estimations, des investissements dans des énergies propres d'une valeur d'environ 95 milliards de dollars ont bénéficié du MDP entre 2002 et 2008.

À titre de comparaison, le montant de l'aide publique au développement consentie au titre de l'atténuation de 2002 à 2007⁷ s'est établi, selon les estimations, aux alentours de 19 milliards de dollars, et 80 milliards de dollars ont été investis dans des énergies viables dans les pays en développement sur la période 2002-2008.

Les bailleurs de fonds et les institutions financières internationales mettent en place de nouveaux instruments financiers pour accroître l'envergure de leur appui aux investissements dans des projets à faible intensité de carbone à l'horizon 2012 (tableau 6.4). Ces initiatives devraient générer un montant total de 19 milliards de dollars d'ici à cette date ; ce chiffre couvre toutefois les financements au titre de l'atténuation et de l'adaptation.

L'insuffisance actuelle des financements au titre de l'atténuation est flagrante (figure 6.2). Si l'on ajoute les apports des bailleurs de fonds indiqués au tableau 6.4 (en supposant qu'ils sont exclusivement alloués aux mesures d'atténuation) aux financements du MDP indiqués par les projections jusqu'à 2012, les ressources fournies jusqu'à cette échéance au titre de l'atténuation se chiffrent à approximativement 37 milliards de dollars, soit moins de 8 milliards de dollars par an, ce qui est très inférieur aux coûts d'atténuation dans les pays en développement (qui devraient, selon les estimations, être compris entre 140 et 175 milliards de dollars à l'horizon 2030), et bien loin de répondre aux besoins de financement correspondants (265 à 565 milliards de dollars).

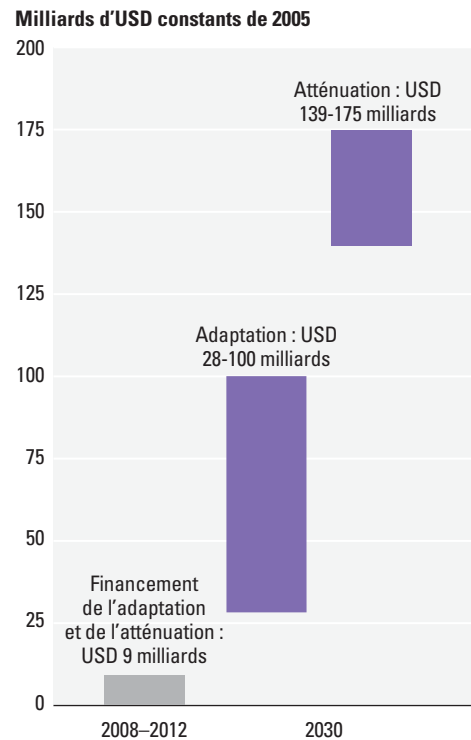
Le montant des financements disponibles à ce jour pour l'action d'adaptation

Les flux de financement au titre de l'adaptation sont un phénomène récent. Les fonds proviennent essentiellement de la communauté internationale, par le biais d'organismes bilatéraux ou d'institutions multilatérales comme le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et la Banque mondiale.

La création en décembre 2007 du Fonds pour l'adaptation, qui est un mécanisme de financement doté de ses propres ressources, a marqué un tournant décisif. Ce fonds est principalement alimenté par un prélèvement de 2 % sur le MDP, mécanisme novateur (examiné plus en détail ci-après) qui pourrait générer entre 300 et 600 millions de dollars à moyen terme, selon le prix du carbone (voir le tableau 6.4 et la note 7).

Si l'on fait abstraction des financements privés, les ressources mobilisées d'ici à 2012 au titre de l'adaptation devraient être comprises entre 2,2 et 2,5 milliards de dollars, selon les montants mobilisés par le Fonds pour l'adaptation.

Figure 6.2 L'écart est important : Estimations des besoins de financement annuels de l'action climatique pour assurer une trajectoire à 2 °C avec les ressources actuelles



Source : Pour 2030, voir le tableau 6.2 ; pour 2008-2012, voir le texte.

Les financements qui pourraient actuellement être destinés à l'adaptation n'atteignent pas un milliard de dollars par an, alors que les besoins annuels de financement sont de l'ordre de 30 à 100 milliards de dollars à moyen terme (voir le tableau 6.2). La figure 6.2 compare le montant des ressources disponibles pour l'action climatique sur la période 2008-2012 (environ dix milliards de dollars par an pour l'atténuation et l'adaptation) et les besoins de financement à moyen terme indiqués par les projections.

Inefficacité des instruments actuels de financement de l'action climatique

Le manque d'efficacité risque d'alourdir encore le coût d'une initiative dont on sait déjà qu'elle sera d'une ampleur considérable et extrêmement onéreuse. Il est donc manifestement impératif de veiller à ce que les ressources consacrées à l'action climatique soient mobilisées et dépensées à bon escient. Trois facteurs d'inefficacité du financement de l'action climatique sont examinés ci-après : la fragmentation des sources de financement, les points faibles des marchés des unités de réduction des émissions aux fins d'atténuation, et les coûts potentiels de prélèvements sur les unités de réduction certifiée des émissions (URCE) pour financer le Fonds pour l'adaptation.

Tableau 6.4 Nouveaux fonds bilatéraux et multilatéraux consacrés à l'action climatique

| Fonds | Montant total (USD millions) | Période |
|--|--|--------------|
| Financement au titre de la CCNUCC | | |
| Priorité stratégique « Adaptation » | 50 (A) | FEM 3-FEM 4 |
| Fonds pour les pays les moins avancés | 172 (A) | Octobre 2008 |
| Fonds spécial pour les changements climatiques | 91 (A) | Octobre 2008 |
| Fonds pour l'adaptation au changement climatique | 300-600 (A) | 2008-12 |
| Initiatives bilatérales | | |
| Cool Earth Partnership (Japon) | 10 000 (A+M) | 2008-12 |
| ETF-IW (Royaume-Uni) | 1 182 (A+M) | 2008-12 |
| Initiative sur le climat et les forêts (Norvège) | 2 250 | |
| Fonds PNUD/Espagne pour la réalisation des ODM | 22 (A) / 92 (M) | 2007-10 |
| GCCA (Commission européenne) | 84 (A) / 76 (M) | 2008-10 |
| Initiative internationale pour la protection du climat (Allemagne) | 200 (A) / 564 (M) | 2008-12 |
| IFCI (Australie) | 160 (M) | 2008-12 |
| Initiatives multilatérales | | |
| GFDRR | 15 (A) (sur 83 millions de dollars de contributions annoncées) | 2007-08 |
| UN-REDD | 35 (M) | |
| Fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone (Banque mondiale) | 500 (M) (engagements : 140) | |
| Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation (Banque mondiale) | 385 (M) (engagements : 160) | 2008-20 |
| Fonds d'investissement climatiques : | 6 200 (A+M) | 2009-12 |
| Fonds pour les technologies propres | 4 800 (M) | |
| Fonds climatique d'investissement stratégique : | 1 400 (A+M) | |
| Programme d'investissement forestier | 350 (M) | |
| Développement des énergies renouvelables | 200 (M) | |
| Programme pilote de protection contre l'impact du changement climatique | 600 (A) | |

Source : CCNUCC 2008a et mises à jour des auteurs.

Note : Pour plusieurs initiatives bilatérales, une partie des fonds sera allouée dans le cadre d'initiatives multilatérales (c'est le cas, par exemple, de certaines contributions aux Fonds d'investissement climatiques ou au Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation), ce qui entraîne un double comptage. Il est donc difficile de dresser un tableau précis des ressources qui seront affectées aux changements climatiques dans les pays en développement. Les Fonds d'investissement climatiques sont administrés par la Banque mondiale et les banques multilatérales de développement. Toutes les données concernant ces Fonds datent de juillet 2009 – le Fonds climatiques d'investissement stratégique avait un solde non affecté de 250 millions de dollars à cette date, et le programme de développement des énergies renouvelables devra recevoir un minimum de 250 millions de dollars d'engagements pour être opérationnel. A = financements au titre de l'adaptation ; M = financements au titre de l'atténuation ; ETF-IW = Environmental Transformation Fund-International Window (Fonds de transformation environnementale – guichet international de financement) ; GCCA = Alliance mondiale pour la lutte contre le changement climatique ; IFCI = Initiative internationale sur le carbone forestier ; UN-REDD = Fonds de partenariat des Nations Unies pour la réduction des émissions de carbone forestier ; GFDRR = Dispositif mondial de réduction des effets des catastrophes et de relèvement. Les annonces de contributions à l'Initiative sur le climat et les forêts (Norvège) se chiffreraient à 430 millions de dollars en juin 2009.

La fragmentation des sources de financement de l'action climatique

Comme le montre le tableau 6.4, il existe un risque de prolifération des fonds climatiques à vocation spéciale. Une telle fragmentation menace de réduire l'efficacité générale des financements de l'action climatique car l'adhésion des pays bénéficiaires diminue à mesure que leurs coûts de transaction augmentent et qu'il devient plus difficile d'aligner cette action sur les objectifs de développement nationaux. Chaque nouvelle source de financement, que ce soit à l'appui

du développement ou de l'action climatique, engendre différents coûts qui sont, notamment les coûts de transaction (dont le montant total augmente avec le nombre de sources de financement), les problèmes d'allocation des fonds (surtout lorsque ces derniers ont des objectifs étroitement circonscrits) et les limites imposées à l'échelle des projets. La fragmentation et la faiblesse actuelles des ressources font clairement ressortir l'importance des négociations consacrées à la formulation d'une architecture de financement de l'action climatique qui permettra de mobiliser des

ressources à la hauteur des besoins et d'utiliser efficacement un grand nombre d'instruments et de circuits.

Bien qu'il soit impossible d'établir un strict parallèle entre le financement de l'action climatique et l'aide au développement, certains des enseignements tirés des études de l'efficacité de l'aide sont particulièrement pertinents pour le financement climatique. L'un des principaux objectifs de la Déclaration de Paris sur l'efficacité de l'aide au développement était de répondre aux préoccupations suscitées par les effets négatifs de la fragmentation de l'aide. En signant cette déclaration, les donateurs et les bénéficiaires de l'aide se sont engagés à incorporer les principes fondamentaux d'appropriation, d'alignement, d'harmonisation, d'orientation sur les résultats et de responsabilité mutuelle dans leurs activités de développement, autant de principes qui ont été récemment réaffirmés dans le Programme d'action d'Accra.

La Déclaration de Paris soulève des points importants pour le financement des investissements dans le domaine du climat, qui sont pour la plupart largement acceptés et énoncés dans les textes issus des négociations, tels que le Plan d'action de Bali⁹ :

- *Appropriation.* Pour renforcer l'adhésion des pays, il est essentiel de s'entendre sur le fait que le changement climatique est un problème de développement – il s'agit là d'un élément central de ce rapport. Il faudra alors parvenir à intégrer ce consensus dans les stratégies nationales de développement.
- *Alignement.* L'alignement de l'action climatique sur les priorités nationales est la deuxième condition indispensable à un accroissement de l'efficacité du financement climatique. Le passage d'une approche-projet à une approche-programme ou sectorielle pourrait faciliter ce processus. La prévisibilité et la durabilité du financement est un autre aspect essentiel de l'alignement. Les programmes d'action climatique au coup par coup, tributaires de la volatilité des ressources disponibles, réduisent l'efficacité générale.
- *Harmonisation.* Dans la mesure où les différents fonds climatiques peuvent avoir des objectifs différents, cette fragmentation des ressources est un obstacle majeur à l'harmonisation des sources de financement et à l'exploitation des synergies entre le financement de l'adaptation, le financement de l'atténuation et le financement du développement.
- *Résultats.* Le programme d'action climatique axé sur les résultats n'est pas vraiment très différent de ceux poursuivis dans d'autres domaines du développement. Il sera essentiel d'élaborer et d'utiliser des indicateurs de réalisations pertinents pour préserver le soutien du public au financement climatique et obtenir l'adhésion des pays aux actions en ce domaine.
- *Responsabilité mutuelle.* Les faibles progrès réalisés dans de nombreux pays développés en direction des objectifs

fixés dans le Protocole de Kyoto fait ressortir la responsabilité qui leur incombe en ce domaine. Tout accord mondial sur le changement climatique doit définir un cadre dans lequel les pays à revenu élevé sont tenus de s'employer à atteindre leurs propres objectifs d'émissions et de fournir des ressources pour l'action climatique, et les pays en développement doivent rendre compte des mesures prises dans ce domaine et de l'utilisation des fonds, comme stipulé dans le Plan d'action de Bali. Outre la mobilisation des ressources nécessaires, le suivi des flux de financement de l'action climatique, la notification et la vérification des résultats, sont au cœur des négociations actuelles sur le climat.

Le choix des investissements devant être financé par les fonds climatiques et les modalités de financement correspondantes sont, au même titre que les sources des financements, des questions d'une importance fondamentale. Certains investissements porteront sur des projets spécifiques – la construction de centrales électriques à faible intensité de carbone, par exemple – mais il sera souvent possible de réaliser des gains d'efficacité en suivant une approche-programme ou sectorielle. Dans le cas de l'adaptation, les fonds devraient, dans la plupart des cas, non pas être alloués à des projets spécifiques, mais associés au financement du développement au niveau national.

De manière plus générale, il vaudrait mieux éviter de donner un caractère trop normatif au financement de l'action climatique en adoptant une approche similaire à celle retenue pour les stratégies de réduction de la pauvreté dans de nombreux pays en développement, qui consiste à subordonner l'aide fournie au titre de la réduction de la pauvreté à l'élaboration d'une stratégie à cette fin par le pays bénéficiaire. L'aide budgétaire globale fournie par les bailleurs de fonds à l'appui d'un programme d'action pour la réduction de la pauvreté s'articule autour de cette stratégie, qui est basée sur une analyse de la pauvreté et la définition des priorités nationales, validées avec la société civile dans le cadre de processus participatifs. Les projets isolés sont alors l'exception plutôt que la règle. Si les pays intégraient l'action climatique dans leurs stratégies de développement, il devrait être possible de suivre une démarche similaire pour le financement dans le domaine du climat.

Le manque d'efficacité du Mécanisme pour un développement propre

Le MDP est le principal instrument utilisé pour promouvoir le financement de l'atténuation dans les pays en développement. Il a dépassé toutes les attentes, prouvé que les marchés pouvaient stimuler la réduction des émissions, fourni des éléments d'information essentiels, fait davantage prendre conscience de la problématique et renforcé les capacités. Mais le MDP présente certaines insuffisances qui remet-

ENCADRÉ 6.2 *Évaluation des avantages connexes du MDP*

Le Mécanisme pour un développement propre présente trois grandes catégories d'avantages pour les pays hôtes (outre les revenus tirés de la vente de crédits carbone) : il permet de transférer et de diffuser des technologies ; il contribue à la création d'emplois et à la croissance économique ; et il favorise un développement écologiquement et socialement durable.

Il est possible de jauger la mesure dans laquelle les projets contribuent à ces trois objectifs en recherchant dans les descriptifs de ces projets les mots clés associés à différents avantages. Cette méthode a été utilisée par Haites, Maosheng et Seres pour évaluer les avantages du MDP en termes de transfert de technologie et par Watson et Fankhauser pour évaluer sa contribution à la croissance économique et au développement durable.

Haites, Maosheng et Seres ont constaté qu'un tiers seulement des projets du MDP ciblent le transfert de technologie par le biais de la fourniture d'équipement et/ou de savoir-faire. Un examen plus approfondi montre qu'il s'agit essentiellement de projets auxquels participent des promoteurs étrangers. Un quart seulement des projets conçus unilatéralement par le pays hôte mentionnent le transfert de

technologies. En outre, ce type de transfert s'effectue généralement dans le cadre de projets de grande envergure. Bien qu'un tiers seulement des projets comportent un volet Transfert de technologie, ces projets génèrent 66 % des réductions d'émissions. Les projets expressément définis comme des « petits » projets, et traités comme tels, ne contribuent au transfert de technologie que dans 26 % des cas.

Le transfert de technologie est toutefois un concept difficile à définir. Dans le domaine de l'atténuation, il s'agit moins du transfert de technologies brevetées que du transfert du savoir-faire opérationnel et managérial nécessaire pour utiliser un procédé particulier. Selon une étude consacrée par Dechezleprêtre et ses collègues tout particulièrement au transfert de technologies protégées par un brevet, le Protocole de Kyoto n'a pas contribué à accélérer les échanges technologiques, bien qu'il puisse avoir encouragé l'innovation en général. Selon Watson et Fankhauser, 96 % des descriptifs de projet font valoir qu'ils contribuent à la viabilité environnementale et sociale, mais il s'agit dans la plupart des cas d'une contribution à la croissance économique et, en particulier, à la création d'emplois. Un peu plus de 80 % des projets

indiquent avoir un impact sur l'emploi et 23 % font valoir qu'ils améliorent les moyens de subsistance. Les effets positifs sur l'emploi sont moins souvent cités dans le cas des projets de réduction des gaz industriels (réduction des émissions d'hydrofluorocarbures, de perfluorocarbures et d'oxyde d'azote – 18 %) et de remplacement des combustibles fossiles par des combustibles moins polluants (43 %) que dans les autres secteurs, où 65 % au moins des descriptifs de projet indiquent présenter des avantages au niveau de l'emploi. Si l'on utilise une définition plus traditionnelle et plus étroite du développement durable, 67 % des projets indiquent qu'ils procurent des avantages sur le plan de la formation ou de l'éducation (valorisation du capital humain), 24 % réduisent la pollution ou produisent des avantages écologiques (accroissement du capital naturel) et 50 % procurent des avantages sur le plan de l'infrastructure ou de la technologie (accroissement du capital créé par l'homme).

Sources : Haites, Maosheng et Seres 2006 ; Watson et Fankhauser 2009 ; Dechezleprêtre et al. 2009.

tent en question le dispositif général et son efficacité en tant qu'instrument de financement :

Une contribution environnementale douteuse. À terme, le succès du MDP sera évalué sur la base de sa contribution à une réduction mesurable des émissions de gaz à effet de serre. Afin de ne pas réduire l'efficacité environnementale des mesures prévues par le Protocole de Kyoto, les réductions d'émissions générées par le MDP doivent venir s'ajouter à celles qui seraient obtenues sans ce mécanisme. Le degré d'additionnalité des projets du MDP fait l'objet d'intenses débats¹⁰. L'additionnalité d'un projet particulier est difficile à établir et encore plus difficile à vérifier parce que le point de référence est, par définition, une situation hypothétique qu'il est impossible de définir sans prêter à controverse ou de prouver de manière irréfutable. Alors que le processus du MDP reste enlisé dans les polémiques sur les notions de base de référence et d'additionnalité, il est temps d'envisager d'autres moyens plus simples de démontrer l'additionnalité, en établissant des normes de référence et une liste positive

des activités à mettre en œuvre pour simplifier davantage la préparation et le suivi des projets. Un retour sur la notion d'additionnalité permettra de pallier les principales sources d'inefficacité qui entravent le bon fonctionnement du MDP tout en améliorant sa crédibilité.

Une contribution insuffisante au développement durable. Le MDP a été créé dans un double objectif : atténuer les effets du changement climatique à l'échelle mondiale et promouvoir le développement durable des pays en développement. Mais il a davantage contribué à réduire les coûts d'atténuation qu'à promouvoir le développement durable¹¹. Un projet est réputé contribuer au développement durable si les autorités nationales attestent officiellement qu'il procure de nombreux avantages locaux additionnels et répond aux priorités nationales de développement (encadré 6.2). Bien que cette définition générale soit acceptée par de nombreux détracteurs¹², diverses organisations non gouvernementales ont fait état de problèmes au niveau de la sélection de certains types de projet (centrales hydroélectriques, plantations de

palmiers à huile, destruction des gaz industriels) et de leur mise en œuvre. Si l'on examine de plus près le portefeuille de projets du MDP en préparation, on constate que la question du développement durable est abordée de façon sommaire et inégale dans les descriptifs de projet et que les promoteurs des projets n'attachent guère d'importance à ce concept ou le maîtrisent mal.

Une gouvernance insuffisante et un fonctionnement inefficace.

Le MDP se distingue par le fait qu'il régleme un marché dominé par des acteurs privés, par l'intermédiaire d'un conseil exécutif – essentiellement un comité des Nations Unies – qui approuve les méthodes de calcul et les projets qui créent les actifs sous-jacents du marché. La crédibilité du MDP dépend dans une grande mesure de la robustesse de son cadre réglementaire et de la confiance du secteur privé dans les opportunités offertes par le mécanisme¹³. Le manque persistant de transparence et de prévisibilité des décisions du conseil suscite de plus en plus de critiques¹⁴. Par ailleurs, le MDP commence à afficher des faiblesses structurelles indiquant qu'il est victime de son succès. Nombreux sont ceux qui se plaignent du nombre d'années que peut prendre l'approbation des méthodologies¹⁵ et du retard de 1 à 2 ans que peut prendre l'évaluation des projets¹⁶. Ce sont là des obstacles majeurs à la poursuite de l'expansion du MDP en tant qu'instrument majeur du financement des efforts d'atténuation dans les pays en développement.

Une couverture limitée. Les projets du MDP ne sont pas également répartis. Le Brésil, la Chine et l'Inde reçoivent à eux trois 75 % des recettes issues des contreparties de la fixation de carbone (voir le tableau 6.3). Les pays à faible revenu ne sont pratiquement pas couverts par le MDP : ils n'ont en effet reçu que 3 % des recettes tirées du carbone, et un tiers de celles-ci sont dues à trois projets de brûlage à la torche au Nigéria. On note également une forte concentration sectorielle, les mesures de dépollution portant essentiellement sur une poignée de projets de gaz industriels. Le MDP n'a appuyé aucun projet d'accroissement des rendements énergétiques dans les domaines du bâtiment ou du cadre ménager ou dans les systèmes de transports, qui produisent 30 % des émissions mondiales de carbone¹⁷ et qui sont ceux dans lesquels les émissions augmentent le plus rapidement sur les marchés émergents¹⁸. Le MDP n'a pas non plus contribué à assurer des moyens de subsistance durables pour les populations pauvres des zones rurales et périurbaines ni à améliorer leur accès à l'énergie¹⁹. Enfin, alors que le déboisement est la principale source d'émissions dans de nombreux pays tropicaux, les projets de conservation des forêts sont exclus du MDP²⁰.

L'insuffisance des incitations est renforcée par l'avenir incertain du marché. Le MDP n'a pas amené les pays

en développement à se placer sur une trajectoire de développement sobre en carbone²¹. Les incitations qu'il offre ne suffisent pas à encourager la transformation de l'économie, sans laquelle l'intensité de carbone continuera d'augmenter dans les pays en développement²². L'approche par projet du MDP et l'insuffisance de son pouvoir de mobilisation ont limité son action à un nombre assez réduit de projets. Le fait que la survie du marché du carbone ne soit pas assurée au-delà de 2012 a également un effet dissuasif sur les transactions.

Le coût-efficacité du financement de l'adaptation

Une importante source de financement des activités d'adaptation – et la principale source de revenu du Fonds pour l'adaptation – est le prélèvement de 2 % sur les montants des projets du MDP, qui pourrait également être appliqué à d'autres mécanismes d'échange tels que la Mise en œuvre conjointe. Si ce prélèvement offre de bonnes perspectives de mobiliser, au profit du Fonds d'adaptation, des financements qui ont un caractère clairement additionnel, il soulève toutefois aussi des questions économiques fondamentales. La principale objection pourrait tenir au fait que le prélèvement sur le MDP taxe un bien (le financement de l'atténuation) et non un mal (les émissions). Plus généralement, deux grandes questions se posent :

- Dans quelle mesure le prélèvement permettra-t-il d'accroître le volume des financements pour l'adaptation, et quelle est la perte d'efficacité économique (ou perte de bien-être collectif, dans le jargon économique) associée à ce prélèvement ?
- De quelle manière la charge fiscale est-elle répartie entre les vendeurs (les pays en développement) et les acheteurs (les pays développés) ?

Selon une analyse basée sur le modèle GLOCAF mis au point par les autorités au Royaume-Uni, la capacité d'un marché du carbone élargi à mobiliser des financements supplémentaires au titre de l'adaptation dépendra du type d'accord climatique mondial conclu²³. Les recettes varieront en fonction de la demande escomptée, qui pourra être limitée ou non par l'imposition de restrictions supplémentaires pour encourager la réduction des émissions au niveau national ; elles varieront aussi, dans une moindre mesure, en fonction de l'offre escomptée, qui dépendra notamment de l'inclusion ou non dans un futur régime des crédits générés par le déboisement évité et d'autres secteurs et régions qui ne contribuent actuellement guère aux échanges de crédits carbone.

Les recettes dépendront aussi du taux de prélèvement. Au niveau actuel de 2 %, la taxe devrait permettre de lever quelque deux milliards de dollars par an d'ici à 2020 si la demande n'est pas limitée, mais seulement moins de la moitié de ce montant si les achats de crédits sont plafonnés (tableau 6.5). Pour lever dix milliards de dollars par an, il faudrait porter le taux de prélèvement à 10 % et supprimer

Tableau 6.5 Incidence d'un prélèvement pour l'adaptation sur les projets relevant du Mécanisme pour un développement propre (2020)
Millions d'USD

| Taux d'imposition | Recettes générées | Perte de bien-être collectif | Coût pour les pays en développement |
|---|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 2 % | | | |
| Demande plafonnée et offre faible | 996 | 1 | 249 |
| Demande non plafonnée et offre importante | 2 003 | 7 | 1 257 |
| 10 % | | | |
| Demande plafonnée et offre faible | 4 946 | 20 | 869 |
| Demande non plafonnée et offre importante | 10 069 | 126 | 6 962 |

Source : Fankhauser, Martin et Prichard, à paraître.

Note : Dans un scénario de demande plafonnée, les régions peuvent acheter des droits d'émission à hauteur de 20 % de leur objectif ; dans un scénario de demande non plafonnée, aucune limite n'est imposée. Dans un scénario d'offre faible, le MDP fonctionne dans les mêmes secteurs et régions qu'à l'heure actuelle. Dans un scénario d'offre importante, le marché du carbone est élargi à d'autres régions et secteurs, y compris pour les crédits alloués au titre de la réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (bien que, comme on l'a vu plus haut, ces réductions ne soient actuellement pas prises en compte dans le MDP). Le marché total se chiffre à 50 milliards de dollars environ dans le scénario demande plafonnée-offre faible et à 100 milliards de dollars environ dans le scénario demande non plafonnée-offre importante.

toutes les restrictions. Même au taux de 10 %, la taxe aurait un coût économique relativement faible par rapport à l'effet positif global des transactions.

Comme pour toutes les taxes, le coût du prélèvement est réparti entre les acheteurs et les vendeurs de crédits carbone, selon leur sensibilité aux variations des prix (élasticité-prix de l'offre et de la demande). Dans les scénarios dans lesquels la demande est limitée, les acheteurs ne réagissent guère à la taxe et supportent donc l'essentiel du fardeau. Mais la situation est différente lorsqu'aucune contrainte ne s'exerce au niveau de la demande. L'incidence fiscale se déplace clairement au détriment des pays en développement, qui doivent assumer plus des deux tiers de la charge fiscale pour maintenir le prix de leurs crédits à un niveau compétitif. En d'autres termes, la principale contribution au Fonds pour l'adaptation proviendrait des pays en développement (sous la forme des revenus auxquels ils doivent renoncer sur le marché du carbone). Au lieu de transférer les fonds des pays développés vers les pays en développement, le prélèvement sur les projets du MDP entraînerait un transfert de ressources des principaux pays dans lesquels sont menés les projets du MDP (Brésil, Chine et Inde – voir le tableau 6.3) aux pays vulnérables admis à recevoir des financements au titre de l'adaptation.

Accroître l'ampleur du financement de l'action climatique

Pour combler le déficit de financement, il faudra diversifier les sources de fonds et modifier les instruments existants de manière à les rendre plus efficaces et à mobiliser les ressources nécessaires. La présente section expose certains des principaux défis que pose la réalisation de cet objectif et fait valoir qu'il importe de :

- Mobiliser de nouvelles sources de fonds à l'appui des efforts d'adaptation et d'atténuation déployés par les

autorités nationales, les organisations internationales ainsi que des ressources dans le cadre de mécanismes de financement spéciaux tels que le Fonds pour l'adaptation.

- Améliorer l'efficacité des marchés du carbone en restructurant le MDP pour en faire le principal mécanisme de mobilisation de financements privés destinés aux activités d'atténuation.
- Étendre les mesures d'incitation basées sur les résultats à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie afin de modifier la répartition des financements entre les sources publiques et les sources privées dans ce domaine important.
- Mobiliser des financements privés pour les activités d'adaptation.

Les pays devront également réfléchir au cadre budgétaire de l'action climatique. Les mesures d'atténuation et d'adaptation prises au niveau national peuvent avoir des répercussions importantes sur les recettes publiques, les subventions et les flux financiers internationaux. Les principaux éléments d'un tel cadre sont, notamment, les suivants :

Choix de l'instrument d'atténuation. Une taxe sur le carbone ou un système d'échange de droits d'émission sera plus efficace qu'un cadre réglementaire et ces instruments peuvent, l'un comme l'autre, générer d'importantes recettes (à condition que les droits d'émission soient vendus aux enchères par l'État). L'encadré 6.3 décrit les principales caractéristiques des taxes sur le carbone et du système de plafonnement et d'échange.

Neutralité budgétaire. Les pays ont la possibilité d'utiliser le produit de la taxe sur le carbone pour réduire d'autres impôts sources de distorsions, ce qui pourrait avoir un fort impact sur la croissance et le bien-être collectif. Toutefois, l'étroitesse de la base des recettes fiscales qui caractérise de nombreux pays en développement pourrait être un obstacle à la recherche d'une neutralité budgétaire totale.

ENCADRÉ 6.3 Taxes sur le carbone et mécanisme de plafonnement et d'échange

Les principaux instruments du marché utilisés pour l'atténuation du changement climatique sont les taxes sur le carbone et les mécanismes de plafonnement et d'échange. Parce qu'ils n'imposent pas de quotas d'émissions ni de normes technologiques (qui sont les mécanismes de réglementation généralement utilisés par les pouvoirs publics), ces instruments laissent le champ libre aux entreprises et aux ménages pour décider comment atteindre un objectif climatique au moindre coût.

Une taxe sur le carbone est un instrument fondé sur le prix ; en général la taxe est perçue sur la teneur en carbone des combustibles utilisés comme intrants, et incite donc les consommateurs à utiliser des combustibles moins riches en carbone ou à utiliser les combustibles de manière plus rationnelle. Toutefois, les pouvoirs publics n'ont que des informations imparfaites sur les coûts de la substitution de combustibles ou de l'amélioration de la maîtrise de l'énergie, de sorte qu'il n'est pas possible d'établir avec certitude dans quelle mesure un taux d'imposition donné contribuera effectivement à réduire les émissions. Si les autorités nationales imposent un plafond d'émissions dans le cadre d'un accord mondial, il leur faudra peut-être établir le taux d'imposition par approximations successives afin de maintenir les émissions en dessous du plafond.

Dans un système de plafonnement et d'échange, l'État délivre des permis d'émissions qui donnent le droit d'émettre du carbone ; les participants au système sont libres d'échanger ces permis. Étant donné que le coût marginal de la substitution de combustibles ou de l'amélioration du rendement énergétique varie selon les entreprises et les secteurs, ces échanges peuvent être sources de gains. Par exemple, si le coût marginal d'atténuation est beaucoup moins élevé pour une entreprise que pour une autre, la première peut vendre un permis à un prix supérieur à son coût marginal d'atténuation, réduire ses émissions en conséquence et dégager un profit – et tant que le prix du permis est inférieur au coût marginal d'atténuation de l'acheteur, la transaction est également avantageuse pour lui. Le système de plafonnement et d'échange étant un instrument quantitatif, on peut être raisonnablement certain

qu'un pays ne dépassera pas son plafond (en supposant que le mécanisme est bien appliqué), mais cet avantage peut avoir pour contrepartie des incertitudes quant au niveau et à la stabilité du prix des permis. Les deux instruments sont différents à plusieurs égards importants :

Effacité

Étant donné que les informations sur les coûts d'atténuation sont imparfaites, il est possible qu'un instrument de marché réduise trop, ou pas assez, les émissions ce qui pourrait alourdir excessivement les coûts dans le premier cas et les dommages dans le second cas. Une démonstration bien connue de Weitzman montre que le choix de l'instrument en situation d'incertitude dépend de la relation entre la pente de la fonction des coûts des dommages et la pente de la fonction des coûts de dépollution. Il est difficile de déterminer ce qu'il faut en déduire dans le cas du changement climatique car la forme de la fonction des coûts des dommages est entachée d'une très forte incertitude. Toutefois, comme les gaz à effet de serre s'accablent et forment des stocks de polluants, nombreux sont ceux qui font valoir que, à court terme, les dommages d'une tonne marginale seront relativement constants, de sorte que la taxe est une meilleure option.

Volatilité des prix

Le système de plafonnement et d'échange permet d'établir avec certitude le volume des émissions, mais peut être source d'incertitudes au niveau des prix. Par exemple, toute modification de la conjoncture ou des prix relatifs des combustibles à faible teneur en carbone et des combustibles à forte teneur en carbone a un impact direct sur le prix des permis. Non seulement la volatilité des prix complique la planification des stratégies de dépollution, mais elle a aussi un effet dissuasif sur l'investissement dans la recherche-développement sur les nouvelles techniques antipollution. La constitution de réserves de droits d'émissions et la possibilité d'emprunter des droits sont deux mécanismes simples qui peuvent contribuer à amortir cette volatilité des prix.

Recyclage des recettes

Une taxe sur le carbone est une source

directe de revenus que l'État peut utiliser pour financer les dépenses publiques ou qu'il peut « recycler » en réduisant ou en éliminant d'autres taxes. Dans la mesure où le recyclage accroît l'efficacité générale du système fiscal, le pays enregistre un « double dividende » – qui n'est cependant pas garanti si les taxes sur le carbone accentuent les inefficacités du système fiscal. Si les droits d'émission sont vendus aux enchères par l'État, ils sont alors eux aussi une source de recettes fiscales pour l'État.

Économie politique

Étant donné que, quel que soit l'objectif climatique retenu, le monde a un bilan carbone bien déterminé, certains groupes pourraient être attirés par la certitude que procure un instrument quantitatif. Aucune entreprise, aucun particulier n'aime payer des impôts. Cette logique peut sembler faire pencher la balance en faveur du système de plafonnement et d'échange, mais l'aversion que les entreprises peuvent éprouver pour la fiscalité signifie aussi qu'elles résisteront à la mise en enchères des droits d'émissions et pourraient même faire pression pour obtenir des permis gratuits. Un système d'octroi de permis qui ne donne pas lieu à leur mise aux enchères a généralement tendance à encourager la recherche de rente et des comportements qui peuvent être sources de corruption.

Effacité administrative

Le coût d'administration de la politique climatique et les besoins en capital institutionnel et humain sont des considérations particulièrement importantes dans les pays en développement. Une taxe sur la teneur en carbone des combustibles pourrait avoir un très bon rapport coût-efficacité car elle pourrait être administrée par les biais des systèmes administratifs déjà utilisés pour le prélèvement des droits de consommation frappant les combustibles. En revanche, la mise en place d'un marché pour la vente aux enchères et l'échange de permis peut être une opération très complexe, et il est nécessaire de créer un organe de contrôle pour surveiller l'exercice des pouvoirs d'intervention sur le marché. Un système de permis exige également que le respect des règles soit suivi et assuré au niveau de chaque émetteur, alors que le suivi de l'application

ENCADRÉ 6.3 Taxes sur le carbone et mécanisme de plafonnement et d'échange (suite)

de taxes sur le carbone peut être assuré de manière bien moins onéreuse au niveau des vendeurs en gros de combustibles. Les taxes sur le carbone et le système de plafonnement et d'échange ne sont pas incompatibles. L'Union européenne a opté pour un régime d'échange de droits d'émission qui sera mis progressivement en place à partir de 2011 pour les gros émetteurs (services d'utilité collective, sources de production de chaleur, grosses

installations industrielles à forte intensité de carbone et transports aériens), soit 40 % environ du volume total des émissions de l'UE. D'autres instruments (notamment une taxe sur le carbone imposée dans plusieurs pays européens) visent les émissions d'autres secteurs, tels que le logement et les services, les transports, la gestion des déchets et l'agriculture. En Australie et aux États-Unis, le système de plafonnement et d'échange

devient le principal mécanisme utilisé pour réglementer les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle nationale (et est complété par des dispositifs comme les normes régissant la part des énergies renouvelables dans le portefeuille énergétique).

Sources : Bovenberg et Goulder 1996 ; Weitzman 1974 ; Aldy, Ley et Parry 2008 ; Newell et Pizer 2000.

Simplicité administrative et faibles coûts d'administration. Les taxes sur le carbone frappent la teneur en carbone des combustibles, de sorte qu'il est possible de simplement les intégrer au régime d'imposition des combustibles déjà en place. L'allocation des permis et le contrôle du respect des règles établies dans un système de plafonnement et d'échange peuvent générer d'importants frais d'administration.

Impact sur la répartition des revenus. Tout instrument d'atténuation basé sur les prix a un effet de répartition des revenus pour différents groupes de revenus, selon l'intensité de carbone de la consommation des membres de chaque groupe et selon qu'ils travaillent ou non dans des secteurs en perte de vitesse à cause de l'imposition d'une taxe sur le carbone ou du plafonnement des émissions. Il peut donc être nécessaire de prendre des mesures budgétaires compensatoires si les ménages à faible revenu sont touchés de manière disproportionnée.

Cohérence des politiques. Les mécanismes d'octroi de subventions actuels, en particulier au titre de l'énergie et de l'agriculture, peuvent aller à l'encontre des mesures d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ses effets. Les subventions versées au titre de biens qui deviendront plus rares sous l'effet du changement climatique, comme l'eau, risquent également d'avoir des effets pervers.

L'encadré 6.4 décrit les efforts déployés par le ministère indonésien des Finances pour intégrer la problématique du climat dans la politique macroéconomique et budgétaire nationale.

Trouver de nouvelles sources de financement de l'adaptation et de l'atténuation

Les institutions publiques – les administrations nationales, les organismes internationaux et les mécanismes de financement prévus par la CCNUCC – sont les principaux moteurs d'un développement intelligent sur le plan climatique. Jusqu'à présent, elles ont presque exclusivement eu recours aux recettes publiques pour financer leurs activités. Mais il est peu probable qu'une facture de l'action climatique qui pour-

rait atteindre plusieurs dizaines ou centaines de milliards de dollars par an puisse être essentiellement financée par des contributions de l'État. Bien que des compléments de financement aient été annoncés, on a pu constater, dans le cadre de l'aide au développement, que les montants que peuvent fournir les bailleurs traditionnels sont assujettis à certaines limites. D'autre part, les pays en développement craignent que les apports des pays développés ne constituent pas totalement une addition à l'aide au développement.

Il faudra donc mobiliser d'autres sources de financement. Plusieurs options ont été proposées, en particulier pour l'adaptation :

Une taxe sur le carbone coordonnée sur le plan international.

Les propositions en faveur d'une taxe sur le carbone administrée au niveau national mais levée au niveau international sont intéressantes parce qu'elles assurent une large base d'imposition ainsi que des flux de recettes relativement assurés. En outre, contrairement au prélèvement sur les projets du MDP, la taxe frapperait les émissions et non pas les réductions d'émissions. Au lieu d'entraîner une perte de bien-être collectif, cette taxe aurait un effet correctif, ce qui est un avantage appréciable. Le principal inconvénient d'une taxe coordonnée sur le plan international est qu'elle risque d'empiéter sur l'autorité fiscale des États souverains. Il pourrait donc être difficile de dégager un consensus international en faveur de cette option.

Une taxe sur les émissions générées par les transports internationaux.

Une taxe plus étroitement ciblée sur les transports aériens ou maritimes internationaux aurait l'avantage de viser deux secteurs qui échappent jusqu'à présent à la réglementation du carbone alors que leurs émissions augmentent rapidement. Compte tenu du caractère international de ces secteurs, une telle taxe pourrait être plus acceptable pour les ministres nationaux des finances, et sa base d'imposition serait suffisamment large pour lever des sommes considérables. Mais la gouvernance mondiale

ENCADRÉ 6.4 *L'engagement du Ministère indonésien des finances face au changement climatique*

Le ministère indonésien des Finances a reconnu que l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ses effets passent par une bonne gestion macroéconomique, la planification des mesures budgétaires, la création de nouvelles sources de revenus, l'existence de marchés des assurances et des options d'investissement à long terme. Tout en accordant la priorité au développement, l'Indonésie s'efforce de concilier ses objectifs économiques, sociaux et environnementaux. Le pays a intérêt à investir dans des technologies non préjudiciables au climat pour se placer sur une trajectoire de croissance plus propre et plus efficace. La réduction des émissions ainsi obtenue ou le ralentissement du rythme annuel de déboisement lui permettrait de dégager des recettes sur le marché du carbone. Le ministère des Finances jouera un rôle essentiel dans le financement, l'élaboration et la mise en œuvre de politiques et de programmes d'action climatique. Pour mobiliser les fonds nécessaires, l'Indonésie prévoit de mettre en place plusieurs mécanismes

en même temps qu'un cadre intégré de mesures nationales, un cadre général porteur et des mesures d'incitations à investir à long terme. L'avantage comparatif dont jouit le ministère des Finances tient au fait qu'il peut considérer des mesures d'incitation et de répartition des ressources qui ont un impact sur l'économie dans son ensemble. Pour bien gérer les possibilités de financement de l'action climatique, le ministère sait combien il importe que les investissements et les bailleurs de fonds aient confiance dans sa démarche et ses institutions. Consciente que les apports des donateurs – que ce soit sous forme de dons ou de prêts concessionnels – seront toujours bien plus faibles que les investissements privés dans le développement du secteur énergétique, l'infrastructure et le logement, l'Indonésie continuera de devoir formuler des mesures et des incitations judicieuses pour pouvoir attirer des investissements privés et démultiplier leur impact en vue d'assurer un développement durable et plus sobre en carbone.

L'Indonésie a déjà pris des mesures pour rationaliser la tarification de l'énergie en réduisant les subventions aux combustibles fossiles en 2005 et en 2008, pour freiner le déboisement en améliorant les programmes de suivi et d'application, et pour encourager l'importation et l'installation de dispositifs antipollution en accordant des allègements fiscaux. Les ministères des Finances et de la Planification du développement ont établi une feuille de route nationale et l'ordre des priorités budgétaires pour intégrer le changement climatique dans le processus national de développement. Le ministère des Finances étudie actuellement des mesures budgétaires et financières qui stimuleront des investissements n'ayant pas d'impact défavorable sur le climat, orienteront le pays vers des sources d'énergies à faible teneur en carbone, comme les énergies renouvelables et le géothermique, et offriront des incitations financières plus intéressantes dans le secteur forestier.

Source : Ministère des Finances (Indonésie) 2008.

de ces secteurs est complexe, et des organes internationaux tels que l'Organisation maritime internationale jouissent de pouvoirs très étendus. La mise en place d'une telle taxe pourrait donc poser d'énormes difficultés administratives.

La mise aux enchères des unités de quantité attribuées. Les engagements de réduction des émissions pris par les parties au Protocole de Kyoto sont exprimés en unités de quantité attribuées (UQA) – qui représentent le volume de carbone qu'un pays est autorisé à émettre. Une option novatrice, initialement suggérée par la Norvège, donnerait lieu à la mise en réserve d'une partie des unités de quantité attribuées à chaque pays ; les unités ainsi mises en réserve seraient vendues aux enchères à l'acheteur faisant la meilleure offre et les recettes ainsi générées seraient uniquement affectées à des activités d'adaptation.

Le produit des ventes aux enchères nationales. La proposition d'affectation spéciale du produit des ventes aux enchères repose sur l'hypothèse que la plupart des pays développés auront bientôt mis en place des systèmes de plafonnement et d'échange de relativement grande portée et que la plupart des permis délivrés dans le cadre de ces systèmes seront vendus aux enchères et non pas attribués

gratuitement. Ce type de mécanisme étant déjà en place ou à l'étude dans la quasi-totalité des pays développés, il s'agit là d'une hypothèse raisonnable. Mais, à l'instar d'une taxe sur le carbone coordonnée au niveau international, l'affectation spéciale du produit des enchères empiéterait sur l'autonomie budgétaire des gouvernements nationaux. Cette option risque donc d'être aussi difficile à mettre en œuvre.

Chacune de ces options présente des avantages et des inconvénients²⁴. L'essentiel est que les options retenues assurent des flux de revenus stables, prévisibles et suffisants. Il semble donc que les financements devront provenir de diverses sources. Le tableau 6.6 indique les différentes sources de financement proposées par les pays développés et par les pays en développement.

À court terme, les mesures de relance budgétaire adoptées par différents pays pour surmonter la crise économique actuelle (voir le chapitre 1) et réamorcer l'activité économique pourraient fournir une impulsion supplémentaire²⁵. Plus de 2 000 milliards de dollars ont été engagés à l'échelle mondiale dans le cadre de différents programmes budgétaires, dont 800 milliards de dollars dans le cadre du programme des États-Unis et 600 milliards de dollars dans celui du plan chinois. Environ 18 % de ces engagements, soit 400 milliards de dollars, concernent des investissements

Tableau 6.6 Sources de financement possibles de l'atténuation et de l'adaptation

| Proposition | Source de financement | Note | Financement annuel (USD milliards) |
|----------------------------------|--|---|------------------------------------|
| Groupe des 77 et Chine | 0,25-0,5 % du produit national brut des Parties visées à l'Annexe I | Calculé sur la base du PNB de 2007 | 201-402 |
| Suisse | 2 dollars par tonne de CO ₂ avec une exonération fiscale de 1,5 tonne de CO ₂ e par habitant | Par an (basé sur les projections à l'horizon 2012) | 18,4 |
| Norvège | Vente aux enchères de 2 % des UQA | Par an | 15-25 |
| Mexique | Contributions basées sur le PIB, les émissions de gaz à effet de serre et la population ; et éventuellement vente aux enchères des permis dans les pays développés | Contributions annuelles ; augmentent avec le PIB et le volume des émissions | 10 |
| Union européenne | Maintien d'un prélèvement de 2 % sur les montants générés par les projets MDP | Fourchette faible demande - forte demande en 2020 | 0,2-0,68 |
| Bangladesh, Pakistan | Prélèvement de 3 à 5 % sur les montants générés par les projets MDP | Fourchette faible demande - forte demande en 2020 | 0,3-1,7 |
| Colombie, pays les moins avancés | Prélèvement de 2 % sur les montants générés par les activités de mise en œuvre conjointe et les échanges de droits d'émission | Annuel, après 2012 | 0,03-2,25 |
| Pays les moins avancés | Taxe sur les transports aériens internationaux (IATAL) | Annuel | 4-10 |
| Pays les moins avancés | Taxe sur les combustibles de soute (IMERS) | Annuel | 4-15 |
| Tuvalu | Vente aux enchères des crédits d'émissions provenant des transports aériens et maritimes internationaux | Annuel | 28 |

Source : CCNUCC 2008a.

Note : UQA : Unité de quantité attribuée ; IATAL : International Air Travel Adaptation Levy (Redevance sur les transports aériens internationaux au titre de l'adaptation) ; IMERS : International Maritime Emission Reduction Scheme (Mécanisme de réduction des émissions des transports maritimes internationaux). Parties visées à l'Annexe I : Groupe constitué par les pays à revenu élevé qui étaient membres de l'OCDE en 1992 et par des économies en transition. Les membres de ce groupe ont pris des engagements spécifiques en vue de ramener individuellement ou conjointement leurs émissions à leurs niveaux de 1990.

« verts » dans la maîtrise de l'énergie et les énergies renouvelables, et, dans le cas de la Chine, dans l'adaptation²⁶. Ces investissements, qui seront déployés au cours des 12 à 18 prochains mois, pourraient contribuer pour beaucoup à orienter le monde vers une trajectoire sobre en carbone. Mais, de par leur nature même, les trains de mesures adoptés visent à stimuler les économies nationales et auront tout au plus un effet indirect sur le financement international de l'action climatique dans les pays en développement.

Il ne suffit pas de mobiliser des financements : s'il est essentiel de trouver des solutions faisant appel aux mécanismes du marché, il faudra aussi déployer d'autres moyens d'action

Étant donné l'augmentation du nombre d'initiatives nationales ou régionales lancées pour examiner les possibilités d'échange de droits d'émission, le marché du carbone devrait jouer un important rôle de catalyseur et contribuer à financer la réorientation des investissements et la transformation des styles de vie qui sont nécessaires. En permettant l'achat de contreparties de la fixation du carbone dans les pays en développement, les mécanismes de plafonnement et d'échange peuvent financer des investissements dans des projets à moindre intensité de carbone dans ces pays. Les marchés du carbone galvanisent également la recherche de solutions efficaces au problème climatique.

À terme, la stabilisation des températures exigera la poursuite d'un effort d'atténuation d'envergure planétaire. Le carbone aura alors un prix mondial et les émissions seront échangées, imposées ou réglementées dans tous les pays. Une fois qu'un système de tarification rationnel aura été mis en place, les forces du marché orienteront la plupart des décisions de consommation et d'investissement vers des options à faible intensité de carbone. Lorsqu'il aura une couverture mondiale, un grand nombre des problèmes qui se posent actuellement au niveau du marché du carbone – additivité, transfert d'émissions, compétitivité, échelle – seront éliminés. Ces problèmes sont très importants aujourd'hui et il ne faut pas oublier que leur règlement passe par la mise en place progressive et harmonieuse d'un marché mondial du carbone. Certaines défaillances du marché seront toutefois inévitables et les autorités nationales devront intervenir pour y remédier.

Pour mener une action d'atténuation efficace, il sera nécessaire de prendre des décisions qui contribuent à l'établissement, à long terme, d'un prix du carbone prévisible et adéquat. Mais, comme on l'a vu au chapitre 4, cela ne sera pas suffisant. Certaines activités, telles que la recherche-développement dans des domaines où les risques sont plus grands ou l'amélioration des rendements énergétiques, sont entravées par les défaillances du marché ou du cadre réglementaire ; d'autres, telles que l'aménagement urbain, ne

réagissent pas directement aux prix. Les secteurs forestier et agricole offrent aussi de grandes possibilités de réduction des émissions et de piégeage du carbone dans les pays en développement mais ces activités sont trop complexes et ont trop de ramifications sociales pour qu'il soit possible de ne recourir qu'à des incitations commerciales. De nombreuses actions climatiques exigeront des financements complémentaires et des interventions de l'État – par exemple, pour surmonter les obstacles à une meilleure maîtrise de l'énergie, apaiser les craintes, étendre les circuits des marchés financiers et des capitaux nationaux et accélérer la diffusion des technologies non préjudiciables au climat.

Accroître la portée et l'efficacité des marchés du carbone

La solution de continuité des marchés du carbone après 2012 est le plus important obstacle à la poursuite de son essor actuel. L'existence même d'un marché mondial du carbone au-delà de 2012 est source de graves incertitudes de même que l'ambition des objectifs d'atténuation, la demande escomptée de crédits carbone, le degré d'interconnexion des différents systèmes d'échange et le rôle que peuvent avoir les mécanismes de contrepartie dans les régimes actuels et futurs. La définition d'un objectif d'atténuation mondial à l'horizon 2050, assorti d'objectifs intermédiaires (déterminés dans le cadre du processus de la CCNUCC) fournirait au secteur privé des informations sur le prix du carbone à long terme et lui permettrait, au cours des prochaines années, de prendre dans un cadre suffisamment certain des décisions d'investissement très importantes qui auront un impact durable sur la trajectoire des émissions.

La mise en place d'un marché mondial du carbone doit, dans un deuxième temps, donner lieu à l'adoption par les pays développés de trajectoires sobres en carbone et à la mobilisation des financements et autres ressources nécessaires pour aider les pays en développement à s'orienter vers un sentier de développement à plus faible intensité de carbone. L'un des principaux défis, dans le contexte de l'accord climatique, consistera à définir un cadre qui appuie et favorise cette transformation et facilite le passage à un système de plus grande portée, dans lequel la plupart des pays s'engagent à atteindre des objectifs de réduction des émissions. Comme indiqué au chapitre 5, on pourrait envisager un processus d'intégration graduel dans lequel des mesures plus rigoureuses seraient progressivement mises en place, selon le degré de responsabilité et les capacités des pays ; cette progression donnerait lieu à l'adoption de politiques non préjudiciables au climat (étape déjà atteinte par bon nombre de pays en développement), au ralentissement de la croissance des émissions et à la fixation d'objectifs de réduction des émissions. Pour faciliter ce processus graduel, différents modèles basés sur un marché du carbone ont été proposés²⁷.

Toutefois, la demande des pays visés à l'Annexe I sur le marché international des contreparties de fixation du carbone restera probablement encore longtemps inférieure au niveau nécessaire pour rétribuer la totalité des actions d'atténuation des pays en développement tout en maintenant le prix du carbone à un niveau suffisamment élevé. La définition d'objectifs plus ambitieux pour les pays visés à l'Annexe I²⁸ inciterait ces derniers à coopérer plus étroitement avec les pays en développement pour poursuivre l'action d'atténuation sur une plus grande échelle, à condition de pouvoir créer une offre crédible de contreparties d'émissions de l'ampleur nécessaire.

Les préoccupations suscitées par l'efficacité et l'efficacité du MDP ont donné lieu à la formulation d'une large gamme de propositions visant à renforcer, élargir ou transformer le mécanisme. D'une manière générale, les propositions rentrent dans deux grandes catégories. Certaines visent à rationaliser le MDP pour qu'il soit mieux adapté à un marché en expansion dominé par le secteur privé, en améliorant l'efficacité et la gouvernance tout au long du cycle des projets et en réduisant les coûts de transaction. Les autres préconisent de sortir de l'approche-projet pour fortement accroître le pouvoir de transformation du MDP et du marché du carbone en mettant l'accent sur l'orientation des investissements et l'infléchissement de l'évolution des émissions.

Il ne serait pas réaliste de compter pouvoir faire plus qu'apporter des améliorations progressives aux MDP d'ici à 2012. Certains praticiens réclament des changements majeurs. Mais de nombreux pays ne maîtrisent pas encore totalement le mécanisme et leurs premiers projets sont tout juste entrés, au cours des derniers mois, dans la phase de préparation de projets au titre du MDP. D'autres mettent l'accent sur la conclusion d'un accord et les instruments requis pour poursuivre les efforts d'atténuation à une plus grande échelle après 2012. Il n'existe pratiquement aucune marge de manœuvre politique pour procéder à un réaménagement en profondeur du MDP avant 2012, comme l'ont souligné les pays en développement qui ont fait valoir que la plupart des modifications nécessiteraient un amendement au Protocole de Kyoto. Pour définir les étapes d'une éventuelle transformation du mécanisme, il pourrait être utile de distinguer deux types de modifications ou d'améliorations du MDP tel qu'il se présente actuellement, qui aboutiraient à terme à la mise en place de deux mécanismes de financement, opérant en parallèle et complétés par un mécanisme hors marché financé par des sources publiques.

Un MDP basé sur les activités. Il est possible de justifier la poursuite des opérations du MDP basé sur les activités actuel, en suivant les règles existantes, moyennant des améliorations ponctuelles. Dans le système actuel, la base de référence et l'additionalité sont déterminées pour chaque

activité de projet et les règles visent à détecter et récompenser les activités qui dépassent les normes (au lieu de promouvoir l'adoption d'une norme plus élevée). La plupart des installations de moyenne à grande taille dans les petits pays peuvent faire l'objet de propositions de projets individuels au titre du MDP, et les microtechnologies telles que la fabrication d'ampoules et de fourneaux peuvent désormais être enregistrées en tant que programmes d'activités dans le cadre du MDP actuel (en regroupant les opérations, il est possible de réduire les coûts de transaction). La plupart des petits pays ou des pays les moins avancés ont bien davantage besoin de renforcer leurs capacités institutionnelles, qui sont très faibles, que d'élaborer des systèmes complexes de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre. Cela signifie que certains pays en développement, sinon la plupart, n'ont pas besoin d'un nouvel ensemble de règles pour offrir leur potentiel d'atténuation sur le marché.

Les principales améliorations d'ordre administratif viseraient, par exemple, à accroître la qualité, la pertinence et la cohérence des informations entre les participants au MDP ; à doter le Comité exécutif du MDP d'une équipe de spécialistes employés à temps complet pour trouver les moyens de lui permettre de mieux représenter les praticiens ; et à accroître la transparence du processus en créant un mécanisme permettant aux auteurs des projets de contester les décisions du Comité. Les pays, quand à eux, devraient créer un cadre des affaires favorable, de manière générale, à la poursuite d'investissements dans des opérations à faible intensité de carbone.

Un mécanisme du marché infléchissant les trajectoires. Ce nouveau mécanisme viserait à infléchir l'évolution générale des émissions à long terme de manière beaucoup plus générale. Intégré ou non au MDP actuel, il aiderait à mettre en œuvre les mesures prises dans le cadre de l'action publique pour placer les pays en développement sur une trajectoire sobre en carbone. Il prendrait en compte et encouragerait les réductions d'émissions obtenues grâce à des mesures ou des programmes permettant de réduire les émissions de toutes sources. Replacer les opérations du MDP dans le cadre d'une approche-programme serait un premier pas sur la voie d'un mécanisme de marché capable d'infléchir la tendance, en permettant de regrouper un nombre illimité d'activités comparables grâce à la mise en œuvre d'une stratégie qui transcende le temps et l'espace. Les propositions en faveur de l'adoption d'une approche sectorielle se répartissent en deux grandes catégories : celles qui reposent sur un accord entre les entreprises opérant dans un même secteur mais dans des pays différents ; et celles qui résultent de la décision d'un pays de mettre en œuvre une politique ou un programme particulier.

Les idées abondent sur la manière dont le MDP et le marché du carbone pourraient promouvoir des politiques

non préjudiciables au climat dans les pays en développement. Les options proposées envisagent toutes un mécanisme de marché du carbone qui récompenserait les résultats mesurables (en termes de réduction des émissions) d'un train de mesures. Ces options diffèrent les unes des autres en ce qui concerne la nature des engagements pris par les pays dans le cadre d'un accord international (engagements obligatoires ou souples), leur portée géographique (régionale ou nationale) et les secteurs couverts (envergure sectorielle ou intersectorielle). Parmi ces options, le mécanisme des objectifs sectoriels sans pénalisation suscite un vif intérêt : dans ce système, un pays peut en effet vendre des crédits carbone s'il ramène ses émissions en dessous d'un seuil convenu (qui serait inférieur au niveau de référence du scénario du laisser-faire), sans pour autant être pénalisé si l'objectif proposé n'est pas atteint. Ce mécanisme serait adapté, pour les pays en développement qui ont besoin d'accroître fortement l'investissement privé – dans une mesure bien supérieure à celle permise actuellement par le MDP – en fonction de leurs priorités de développement durable.

Créer des incitations financières en faveur du programme REDD

Une question particulièrement préoccupante pour les pays en développement est l'absence d'incitations financières pour la réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD). En 2005, près d'un quart des émissions des pays en développement ont résulté du changement d'affectation des terres et de la foresterie. L'exclusion de ces sources de réduction a donc un impact non négligeable²⁹. Mais l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie ont toujours été des questions délicates et sujettes à controverse dans les négociations sur le climat. Leur inclusion dans le Protocole de Kyoto ayant suscité une vive opposition, seuls les projets de boisement et de reboisement peuvent être financés dans le cadre du MDP ; ces projets sont toutefois exclus du système européen d'échange de droits d'émissions.

Le programme REDD a initialement visé les pays connaissant un déboisement (tableau 6.7). Toutefois, certains pays très boisés connaissent un faible taux de déboisement et sollicitent des financements à l'appui des efforts qu'ils déploient pour gérer et protéger durablement leurs forêts, surtout lorsque les activités menées par d'autres pays dans le cadre du programme REDD contribuent à pousser l'exploitation forestière et l'expansion agricole au-delà de leurs frontières (phénomène de fuite). D'autres pays ont déjà pris des mesures et formulé des stratégies pour assurer une gestion durable de leurs forêts et souhaitent que leurs efforts de réduction des émissions soient reconnus par des mécanismes de marché équivalant à une rémunération des services écologiques. Comme indiqué au chapitre 3, la conservation du carbone dans les sols (encadré 6.5), grâce

ENCADRÉ 6.5 Conservation du carbone dans les terres agricoles

Le secteur agricole pourrait avoir un fort potentiel d'atténuation – estimé à quelque six gigatonnes d'équivalent de dioxyde de carbone (CO₂e) par an à l'horizon 2030 – principalement grâce au piégeage du carbone. De nombreuses méthodes d'atténuation (telles que la gestion des terres arables, la gestion des pâturages, la gestion des sols organiques, la restauration des sols dégradés et la gestion de l'élevage) utilisent des technologies existantes et peuvent être immédiatement mises en œuvre. Ces options sont également d'un coût compétitif : si l'on suppose que le prix de

la tonne de CO₂e est inférieur à 20 dollars, le potentiel économique mondial des mesures d'atténuation dans le secteur agricole serait de l'ordre de 2 gigatonnes de CO₂e par an à l'horizon 2030. La prise en compte du carbone présent dans les terres agricoles permettrait au marché du carbone de jouer un plus grand rôle dans l'amélioration des modes de gestion des sols. Le piégeage du carbone peut aider à accroître la productivité agricole et la capacité d'adaptation des agriculteurs au changement climatique. Une plus forte teneur des sols en carbone améliore la structure de ces derniers, ce

qui ralentit l'érosion et l'appauvrissement en nutriments. Un sol plus riche en carbone retient mieux l'eau et accroît donc mieux la résistance des systèmes agricoles aux sécheresses. Ces effets biophysiques positifs du piégeage du carbone contribuent directement à améliorer le rendement des cultures, des fourrages et des plantations ainsi que la productivité des terres. Il reste cependant à résoudre les questions de suivi et de vérification des volumes supplémentaires piégés, ainsi que de la permanence du piégeage du carbone.

Source : GIEC 2007.

à des mécanismes basés sur les résultats, gagne aussi du terrain mais les négociations sont moins avancées que dans le cas du programme REDD.

Le programme REDD touche de nombreux groupes, concerne divers objectifs sociaux et a souvent des effets qui peuvent être positifs ou négatifs. Il pourrait représenter une nouvelle source de revenu pour les populations autochtones, qui craignent cependant – non sans raison – que les mécanismes REDD ne soient utilisés pour limiter leurs droits d'accès et leur utilisation des terres traditionnelles. Le programme pourrait fournir des ressources permettant de mieux protéger des régions qui abritent une riche biodiversité, mais il pourrait aussi déplacer les activités d'abattage

et de déboisement en dehors du territoire national vers des régions abritant une riche biodiversité (un autre exemple de fuite).

Il est généralement admis que, avant de pouvoir bénéficier des incitations financières du programme REDD, les pays forestiers doivent jeter les bases stratégiques, juridiques, institutionnelles et techniques nécessaires pour y accéder, c'est à dire procéder aux activités de préparation au titre de l'initiative REDD. Les éléments clés de ce processus de préparation doivent être mis en place au niveau national (et non pas au niveau des projets) pour faire face aux causes systémiques du déboisement et de la dégradation des forêts et limiter les fuites.

Le Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation) a été conçu dans le but d'aider les pays forestiers des régions tropicales et subtropicales à se préparer à participer au programme REDD, ainsi qu'à mener des opérations pilotes pour tester des mesures d'incitation basées sur les résultats. Dans le cadre du Fonds, les activités de préparation au titre de l'initiative REDD consistent à élaborer une stratégie REDD nationale et un dispositif de mise en œuvre, à formuler un scénario de référence pour les émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts, et à établir un système national de suivi, de notification et de vérification. Le programme REDD des Nations Unies est un programme similaire lancé conjointement par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, le Programme des Nations Unies pour le développement et le Programme des Nations Unies pour l'environnement.

Dans le cadre de sa stratégie nationale REDD, un pays évaluera sa politique foncière et forestière et identifiera les facteurs du déboisement et de la dégradation des forêts. Il formulera des options stratégiques pour s'attaquer à ces

Tableau 6.7 Initiatives nationales et multilatérales de lutte contre le déboisement et la dégradation des forêts

| Initiative | Montant total (USD millions) | Période |
|--|------------------------------|------------|
| Initiative internationale sur le carbone forestier (Australie) | 160 | 2007-12 |
| Initiative sur le climat et les forêts (Norvège) | 2 250 | 2008-12 |
| Fonds de partenariat pour la réduction des émissions dues à la déforestation (Banque mondiale) | 300 | 2008-18 |
| Programme d'investissement forestier (fait partie des Fonds d'investissement climatiques) | 350 | 209-12 |
| Programme UN-REDD | 35 | 2008-12 |
| Fonds amazonien | 1 000 | 2008-15 |
| Fonds forestier du Bassin du Congo | 200 | Incertaine |

Source : CCNUCC 2008b.

Note : Les pays ou institutions à l'origine des propositions figurent entre parenthèses.

facteurs et évaluera leur coût-efficacité, leur équité et leur durabilité. Il déterminera ensuite les dispositifs juridiques et institutionnels nécessaires pour mettre en œuvre la stratégie REDD, notamment l'organe (ou les différents organes) devant coordonner le programme au niveau national, le promouvoir et mobiliser des fonds ; il définira les mécanismes de répartition des avantages associés aux flux financiers attendus dans le cadre du programme REDD ; et il établira un registre national du carbone pour gérer les activités REDD (aussi bien les réductions d'émissions que les recettes qu'elles génèrent). Le pays déterminera également ce dont il aura besoin en termes d'investissements et de renforcement des capacités pour mettre en œuvre la stratégie et évaluera l'impact environnemental et social des différentes options stratégiques et modalités d'application (leurs avantages, les risques qu'elles posent et les mesures d'atténuation des risques).

Les pays prêts à participer au programme REDD doivent établir un scénario de référence national. Ce scénario devra comprendre une analyse rétrospective, présentant les calculs du volume moyen des émissions au cours des dernières années, et éventuellement une analyse prospective, présentant les prévisions des émissions futures établies sur la base de l'évolution de la croissance économique et des plans nationaux de développement.

Un système de paiement sur la base des résultats doit nécessairement reposer sur un système national de suivi, de notification et de vérification (SNV). Le système SNV pourrait couvrir l'impact des paiements non seulement sur les niveaux de carbone mais aussi sur la diversité biologique et les moyens de subsistance. L'emploi des techniques de télédétection et des mesures au sol doit être replacé dans le cadre de ce système. L'expérience acquise dans le contexte des initiatives de gestion des ressources naturelles au niveau des communautés montre que la participation des populations locales, et notamment des groupes autochtones, à des activités de suivi des ressources naturelles peut également aider à recueillir d'une manière efficace par rapport aux coûts des informations locales exactes sur l'évolution de la situation de la biomasse forestière et des ressources naturelles³⁰. Les communautés locales peuvent assurer le suivi des stocks de ressources naturelles, du partage des avantages et des effets écologiques et sociaux plus généraux des mécanismes REDD. Les démarches participatives offrent la possibilité d'améliorer sensiblement la gouvernance et la gestion de ces mécanismes.

Avant qu'un important système de paiements basés sur les résultats au titre des interventions REDD ne puisse commencer à fonctionner, la plupart des pays forestiers devront entreprendre des réformes et des programmes d'investissement. Il se peut qu'ils doivent investir pour renforcer les capacités institutionnelles, améliorer la gouvernance et l'information forestières, accroître l'envergure des efforts de protection et

de gestion durable des forêts, et atténuer les pressions exercées sur celles-ci – par exemple en réinstallant les opérations agroindustrielles dans des sites plus éloignés des forêts ou en améliorant la productivité agricole. Plusieurs initiatives ont été lancées ou sont à l'étude pour fournir une assistance aux pays dans ces domaines (tableau 6.7). La Banque mondiale a aussi proposé la création d'un programme d'investissement forestier financé par les Fonds d'investissement climatiques. Par ailleurs, la Coalition des pays à forêt ombrophile et le Projet en faveur des forêts ombrophiles lancé par le Prince de Galles ont récemment proposé que les institutions financières procèdent à une émission d'obligations pour aider les pays forestiers à financer les programmes de protection et de valorisation des forêts. Cet exemple montre qu'il est nécessaire d'avoir une palette d'instruments pour guider les changements de comportements et les décisions d'investissement : les apports de fonds initiaux (financements concessionnels et novateurs) doivent être assortis d'incitations fondées sur les résultats pour promouvoir les réformes, renforcer les capacités et lancer des programmes d'investissement. Il souligne aussi le rôle crucial de catalyseur comme catalyseur de l'action climatique joué par les financements publics.

Mobiliser des financements privés aux fins d'adaptation

Alors que, dans le cas de l'atténuation, ce sont les capitaux privés levés sur le marché du carbone qui doivent jouer un rôle primordial, dans celui de l'adaptation, ce sont les financements publics qui sont principalement visés. Cela n'est pas surprenant parce qu'il existe un lien étroit entre l'adaptation et un développement réussi et que bon nombre de mesures d'adaptation sont des biens publics – comme la protection des zones côtières (bien public local) et la diffusion en temps voulu d'informations sur le climat (bien public national).

Même si les financements publics doivent jouer un rôle important, les particuliers et les entreprises assumeront une grande partie du fardeau de l'adaptation. Les assurances contre le risque climatique, par exemple, relèvent essentiellement du secteur privé. De même, la protection du patrimoine physique mondial – logements, usines, équipements – contre les aléas climatiques incombera principalement aux propriétaires privés, bien que l'État soit responsable de la protection contre les inondations et des secours en cas de catastrophe. En outre, certaines infrastructures collectives, telles que ports maritimes, centrales électriques et réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, qui devront être adaptées pour faire face au réchauffement de la planète, sont détenues et gérées par des sociétés privées.

Faire participer le secteur privé au financement des mesures d'adaptation pose un triple défi aux pouvoirs publics : il s'agit d'inciter les acteurs privés à s'adapter, de partager avec eux les coûts d'adaptation des infrastructures

publiques et de mobiliser des financements privés au titre d'investissements dans des mesures d'adaptation.

Inciter les acteurs privés à s'adapter de manière efficace. La plupart des choix de consommation des particuliers ou des décisions des entreprises sont directement ou indirectement influencés par des facteurs climatiques, qu'il s'agisse des vêtements portés, des cultures plantées ou du type de bâtiment construit. Ces décisions d'adaptation sont prises de manière implicite. Le principal rôle de l'État est de créer un environnement économique qui facilite ces décisions, par le biais d'incitations économiques (allègements fiscaux pour les projets d'adaptation, impôt foncier modulé en fonction du risque, primes d'assurance différenciées), du cadre réglementaire (planification par zones, codes de construction) ou simplement par l'éducation et la diffusion d'informations de meilleure qualité (prévisions météorologiques à long terme, services de vulgarisation agricole).

Ces mesures auront un coût économique qui résultera, par exemple, de l'obligation de respecter des règles de construction plus strictes, d'utiliser différentes variétés de semences, ou de payer des primes d'assurance plus élevées, etc. Ce coût sera supporté par l'économie et réparti entre différents secteurs car les producteurs répercuteront la hausse de leurs coûts sur leurs clients et les régimes d'assurance contribueront à étaler les risques sur un pool d'assurés. Il ne sera guère nécessaire de mobiliser des fonds spéciaux au titre de l'adaptation, sauf peut-être pour couvrir les dépenses administratives de l'État ou pour protéger les groupes vulnérables des retombées préjudiciables de certaines mesures.

Partager les coûts d'adaptation des infrastructures publiques. Les coûts des mesures prises pour mettre les infrastructures de transport, les réseaux d'électricité, les systèmes d'alimentation en eau et les réseaux de communication à l'épreuve du changement climatique constitueront l'essentiel de la facture d'adaptation publique. Que ces services soient assurés par des entités publiques, des sociétés privées ou des établissements publics à caractère commercial, les coûts devront être couverts soit par les contribuables (nationaux, ou étrangers si une aide extérieure est fournie aux fins d'adaptation) soit par les usagers (par le biais d'une hausse des tarifs).

Pour les prestataires de services d'infrastructure, le changement climatique (et la politique climatique) sera un nouveau facteur de risque à prendre en considération, qui viendra s'ajouter aux risques réglementaires, commerciaux et macroéconomiques³¹. Il serait donc judicieux d'intégrer systématiquement, aussi rapidement et de manière aussi prévisible que possible, la notion de responsabilité de l'adaptation dans le régime réglementaire. Face à l'accroissement des facteurs d'incertitude qui ont un impact sur le monde physique, il est également essentiel d'accroître la souplesse du régime réglementaire car des dispositions ex ante ne sont

guère adaptées à un environnement caractérisé par des changements imprévus. Des nouvelles approches, novatrices, de la réglementation offrent des possibilités prometteuses. C'est le cas, par exemple, du modèle adopté par l'agence britannique de réglementation du secteur énergétique, qui peut jouer un rôle d'auditeur et laisse aux principaux intervenants publics et privés le soin de définir les priorités d'investissement³².

Mobiliser des financements privés au titre d'investissements dans des mesures d'adaptation. L'ampleur de la contribution du secteur privé au financement d'infrastructures spécifiques pour l'adaptation est probablement limitée, et ce pour plusieurs raisons. Étant donné que ces investissements ne génèrent en principe pas de recettes pour les opérateurs privés, ces derniers doivent être rémunérés par l'État qui assume, de ce fait, un engagement représentant un quasi-endettement qui doit être enregistré dans les comptes publics. Il n'est pas non plus vraiment convaincant d'invoquer le motif d'efficacité³³. Les ouvrages d'adaptation tels que les digues de protection contre les crues étant relativement bon marché et simples à exploiter, les opérateurs privés ont une faible marge de manœuvre pour réaliser des gains d'efficacité au niveau des opérations. Ces gains pourraient être plus appréciables aux stades de la construction et de la conception, mais ils pourraient tout aussi bien résulter du recours à des mécanismes de passation de marché appropriés.

D'une manière plus générale, les financements privés ne permettent de satisfaire qu'une petite part des besoins de financement des infrastructures dans les pays en développement et resteront probablement peu importants tant que la crise financière actuelle durera³⁴. Pour cette raison et celles qui sont mentionnées plus haut, les spécialistes de l'infrastructure sont d'avis qu'il ne faut pas compter outre mesure sur les partenariats public-privé pour lever des fonds au titre de la lutte contre le changement climatique³⁵.

Veiller à une utilisation transparente, rationnelle et équitable des fonds

Même s'il s'avère possible de mobiliser un complément de financement, les ressources allouées à l'action climatique seront limitées. Il est donc essentiel de les utiliser de manière rationnelle, suivant des modalités d'allocation transparentes et équitables.

Dans le domaine de l'atténuation, l'allocation des ressources sera dictée avant tout par des considérations d'efficacité. L'atténuation est un bien public mondial et produit les mêmes avantages partout, quel que soit le lieu où les activités de dépollution sont poursuivies (bien que la répartition des coûts d'atténuation pose un problème d'équité). Sous réserve qu'un cadre approprié ait été mis en place, c'est-à-dire, essentiellement, un marché du carbone permettant de rechercher les possibilités d'atténuation dans le monde

entier tout en protégeant les intérêts des pays hôtes, les marchés du carbone associés à d'autres mécanismes fondés sur les résultats et à des financements publics pour combler les domaines auxquels le marché ne s'intéresse pas, peuvent permettre d'allouer les ressources de manière assez efficace.

En revanche, dans le domaine de l'adaptation, l'allocation des ressources soulève d'importantes questions d'efficacité mais aussi d'équité. Contrairement à l'allocation des fonds d'atténuation, l'allocation des fonds d'adaptation a de fortes répercussions sur la répartition des revenus. Les ressources consacrées à la protection des petits États insulaires sont autant de ressources en moins pour les agriculteurs africains. Le débat continue sur le mode de classification des fonds d'adaptation, et s'étend à la question de l'allocation de ces ressources. Les pays en développement sont enclins à penser que les financements accordés au titre de l'adaptation le sont à titre de dommages-intérêts, et invoquent le principe du pollueur-payeur. Ils estiment donc que la question de l'utilisation des fonds d'adaptation n'est pas du ressort des pays à revenu élevé. Ces derniers, par contre, sont profondément convaincus de la nécessité d'utiliser efficacement des ressources peu abondantes, quelle que soit la justification ou l'origine des financements.

Il est manifestement dans l'intérêt de toutes les parties en présence que les financements au titre de l'adaptation soient alloués et utilisés de manière rationnelle et équitable.

Le gaspillage des ressources peut saper le soutien du public en faveur de l'action climatique dans son ensemble. C'est pourquoi il est essentiel d'assurer une allocation transparente, efficace et équitable de ces ressources. Pour illustrer la manière dont les institutions de développement procèdent à l'allocation de ressources financières, il suffit de prendre l'exemple de l'Association internationale de développement (IDA), qui établit un indice intégrant le besoin de financement, la capacité d'absorption de l'État et la performance de l'administration centrale (encadré 6.6). La démarche de l'IDA n'est pas parfaite : parce que la même formule est utilisée pour tous les pays, elle impose essentiellement le même modèle de développement à tous ces pays³⁶. Cela est déjà problématique pour les questions de développement habituelles, cela pourrait l'être bien plus dans le domaine du changement climatique, car on est beaucoup plus loin de pouvoir définir le bon modèle d'adaptation. Il n'empêche que la mise au point d'une méthode empirique d'allocation des fonds d'adaptation pour s'attaquer à ces questions aurait au moins trois avantages : elle permettrait de réduire les coûts de transaction si le processus d'allocation ne fait l'objet ni de pressions de groupes d'intérêt ni de négociations ; de promouvoir la politique de résultats par le biais d'un processus d'allocation basé sur des mesures empiriques ; et de soutenir le principe de responsabilité mutuelle en assurant la transparence du processus d'allocation.

ENCADRÉ 6.6 Allocation des financements concessionnels en faveur du développement

On pourrait s'inspirer, notamment, de la formule utilisée par l'Association internationale de développement (IDA) pour allouer les financements concessionnels de manière transparente et empirique. Ce modèle évolutif, qui se perfectionne peu à peu depuis une dizaine d'années, alloue approximativement dix milliards de dollars de financements concessionnels par an aux pays les plus pauvres.

La formule d'allocation de l'IDA utilise trois critères de base : le besoin de financement concessionnel, la capacité d'absorption et la performance de l'administration centrale. L'indice de base retenu pour le besoin de financement est le niveau de pauvreté moyen d'un pays (pondéré de manière à favoriser les pays les plus pauvres) multiplié par le nombre d'habitants du pays en question. La capacité d'absorption est mesurée par la performance du portefeuille de projets de la Banque mondiale – les retards de

décaissement et les annulations de prêts ou de crédits indiquent clairement un manque de capacité d'absorption de financements additionnels. À la lumière des études réalisées sur l'efficacité de l'aide au développement, la formule est pondérée en faveur des pays dont la gouvernance est la plus solide parce que l'expérience montre que ce sont ceux qui parviennent le mieux à traduire l'aide reçue en croissance économique.

La performance de l'administration centrale est, quant à elle, mesurée par deux indices subsidiaires : la qualité des politiques macroéconomiques, structurelles et sociales et des institutions et la qualité de la gouvernance, qui sont basés sur l'Évaluation de la politique et des institutions nationales de la Banque mondiale.

La formule attribue des coefficients de pondération de 68 %, 24 % et 8 % respectivement à la gouvernance, aux politiques macroéconomiques, sociales et

structurelles, et à la capacité d'absorption. Le résultat obtenu est ensuite multiplié par le nombre d'habitants du pays, pondéré par le revenu moyen de la population (pour tenir compte des besoins), de manière à produire la note finale sur la base de laquelle repose l'allocation des fonds concessionnels.

Cette formule risquant de pénaliser certains des pays dont les besoins sont les plus grands, une partie des financements annuels disponibles est allouée d'office : chaque pays reçoit un montant minimum ; les pays sortant d'un conflit et dont les institutions sont extrêmement fragiles reçoivent une aide supplémentaire ; et la situation des pays touchés par des catastrophes naturelles est également prise en compte. Les financements de l'IDA sont par ailleurs plafonnés pour les pays à financement mixte, qui ont accès aux financements du marché.

Sources : IDA 2007; Burnside et Dollar 2000.

L'indicateur des besoins de financement devrait être étroitement lié à la notion de vulnérabilité au climat. Telle que définie par le GIEC, la vulnérabilité dépend de la capacité d'adaptation, de la sensibilité aux facteurs climatiques et de l'exposition au changement climatique³⁷. Les besoins de financement pourraient donc être mesurés par un indice de sensibilité et d'exposition pondéré par le nombre d'habitants et, éventuellement, le niveau de pauvreté. Pour les grands pays en particulier, il importe aussi de tenir compte de la répartition des impacts et des différences qui existent au niveau de la vulnérabilité dans différentes parties du territoire.

S'il est clair que la capacité d'adaptation d'un pays dépend de la performance de l'administration centrale et de la capacité d'absorption de ressources financières, ces facteurs ne sont pas les seuls déterminants de l'adaptation au changement climatique. Il est également important de prendre en compte la « capacité sociale » pour déterminer la gravité des effets du changement climatique sur un pays ; cette notion recouvre des facteurs tels que l'inégalité (coefficient de Gini), la complexité des marchés financiers, le rapport de dépendance économique, le taux d'alphabétisation des adultes et le niveau d'instruction des femmes.

En résumé, un indice d'allocation des fonds d'adaptation pourrait comprendre les éléments suivants :

| | |
|---------------------------------|--|
| Indice d'allocation = | Performance de l'administration centrale |
| | Capacité d'absorption |
| | Manque de capacité sociale |
| | Sensibilité au climat |
| | Exposition au changement climatique |
| | Pondération par la « population » |
| Pondération par la « pauvreté » | |

L'établissement de cet indice présente plusieurs difficultés. Les informations sur la vulnérabilité des pays en développement restent sommaires. Les circuits complexes et souvent mal définis par lesquels les effets potentiels des changements climatiques, eux-mêmes incertains, deviennent sources de vulnérabilité accroissent la difficulté de l'opération. Les incertitudes concernant la relation entre les impacts environnementaux et les effets socioéconomiques sont encore accrues par les incertitudes qui caractérisent les scénarios de l'évolution future du climat. Tous les modèles s'appuient sur un nombre limité de prévisions socioéconomiques et chacun d'entre eux considère une gamme de changements possibles. La plupart des études liées aux scénarios de l'évolution climatique future portent donc sur les effets escomptés dans un secteur ou sur des résultats spécifiques, tels que l'impact sur la santé ou les pertes dues à l'élévation du niveau de la mer. Peu d'études ont cherché à exprimer ces résultats en termes de vulnérabilité sur le terrain³⁸.

Comme c'est le cas pour les allocations de l'IDA, l'indice d'allocation des fonds d'adaptation au changement climatique risque de pénaliser les pays pauvres ayant un haut degré de sensibilité et d'exposition aux aléas climatiques et des institutions très précaires. Si l'on adopte le système de la formule d'allocation, il importera de prévoir des allocations spéciales pour les pays extrêmement fragiles.

Certains des premiers efforts déployés pour établir un indice de vulnérabilité sont décrits dans l'encadré 6.7, dont le diagramme présente les valeurs d'une fonction d'un indice composite de l'impact physique par rapport à un indice composite de la capacité sociale. Il s'agit d'un schéma très simplifié et les résultats ont une valeur purement indicative ; ils montrent toutefois que la majorité des pays les plus vulnérables se trouvent en Afrique subsaharienne³⁹. L'encadré 6.8 présente un diagramme des valeurs prises par une fonction du même indice des effets par rapport à une mesure de la performance d'un pays (une combinaison de la capacité de l'administration centrale et de la capacité d'absorption de ressources financières par l'État) basée sur la formule d'allocation de l'IDA. Là encore, les projections placent les pays d'Afrique subsaharienne dans le quadrant correspondant à des impacts élevés et à une faible capacité d'adaptation.

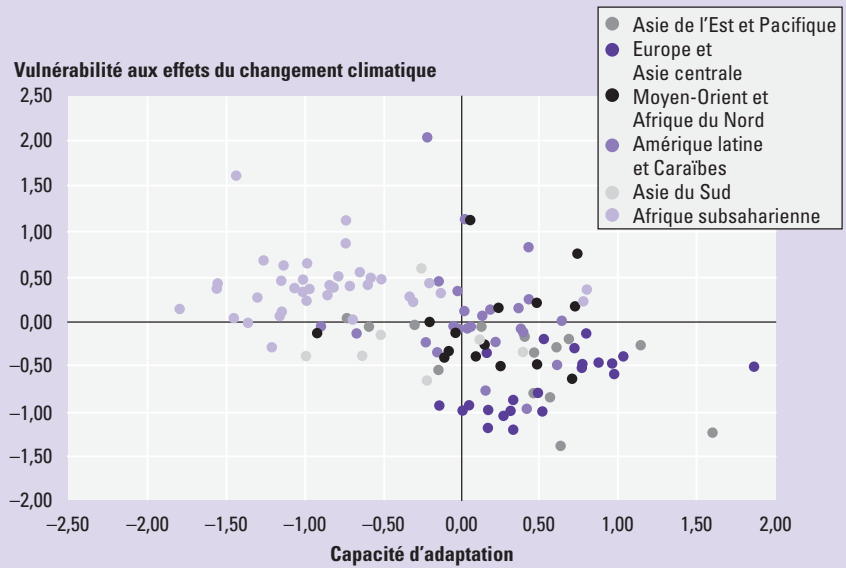
Assurer une correspondance entre les besoins et les sources de financement

La lutte contre le changement climatique pose d'énormes défis socioéconomiques, technologiques, institutionnels et stratégiques. Elle pose aussi d'importants problèmes de financement, en particulier dans les pays en développement. Les investissements annuels supplémentaires requis aux fins d'atténuation dans ces pays pourraient être compris entre 140 et 175 milliards de dollars à l'horizon 2030 (et les besoins de financement connexes entre 265 et 565 milliards de dollars), tandis que les ressources nécessaires au titre de l'adaptation pourraient atteindre 30 à 100 milliards de dollars par an. Ces financements devront venir s'ajouter aux ressources allouées au développement, qui demeurent essentielles et aideront à combler en partie le déficit de financement de l'adaptation.

Bien qu'ils augmentent, les flux de ressources destinés aux pays en développement au titre du changement climatique ne couvrent actuellement qu'une très petite fraction des besoins estimés. Aucune source de financement ne pourra, seule, produire les fonds supplémentaires requis et il faudra faire appel à plusieurs sources de financement. Les fonds d'adaptation pourraient provenir de la taxe prélevée sur les projets MDP, qui pourrait générer quelque deux milliards de dollars par an à l'horizon 2020 si elle est également appliquée à une plus large gamme de transactions sur le marché du carbone. La vente d'UQA, l'imposition des émissions des transports internationaux et une taxe mondiale sur le

ENCADRÉ 6.7 *Vulnérabilité climatique et capacité sociale*

Le diagramme présente les valeurs d'une fonction d'un indice composite de l'impact physique (lui-même fonction de la sensibilité au climat et de l'exposition au changement climatique, et établi à partir de différentes études d'impact à l'échelle mondiale) par rapport à un indice composite de la capacité sociale (établi à partir de différents indicateurs socioéconomiques). La capacité sociale et la vulnérabilité, telles qu'indiquées par les projections des impacts, sont des indices composites des indicateurs énumérés dans le tableau ci-après.



| | Indicateur | Mesure | Source | Hypothèses |
|-------------------------|--|---|----------------------------------|---|
| Impact | Élévation du niveau de la mer | % de la population touché par une élévation de 1 mètre | Dasgupta <i>et al.</i> 2007 | Aucun impact sur les pays sans littoral |
| | Agriculture | Perte de rendement en % en 2050, scénario A2B du RSSE établi par le GIEC | Parry <i>et al.</i> 2004 | Une baisse de rendement représente une perte de bien-être collectif. Une hausse de rendement représente un gain de bien-être. Mesures d'adaptation au niveau de l'exploitation agricole |
| | Santé | % de décès supplémentaires en 2050 | Bosello, Roson et Tol 2006 | Décès supplémentaires représentatifs de tous les impacts du changement climatique sur la santé |
| | Catastrophes naturelles | % de la population victime de catastrophes naturelles (données historiques) | CRED 2008 | Les caractéristiques actuelles des catastrophes sont considérées représentatives des futures menaces |
| Capacité sociale | Alphabétisme | % de la population âgée de plus de 15 ans qui est alphabétisée (1991-2005) | Banque mondiale 2007c | La capacité sociale augmente avec le taux d'alphabétisation |
| | Rapport de dépendance économique | Rapport de la population non active à la population active (2006) | Banque mondiale 2007c | La capacité sociale est d'autant plus élevée que le rapport de dépendance économique est faible |
| | Taux d'achèvement du cycle primaire (filles) | % de filles achevant leurs études primaires (1991-2006) | Banque mondiale 2007c | La capacité sociale augmente avec le taux d'achèvement du cycle primaire |
| | Gini | Coefficient de Gini (pour la dernière année où il est disponible) | Banque mondiale 2007c | La capacité sociale est d'autant plus élevée que le degré d'inégalité est faible |
| | Crédit intérieur au secteur privé | Crédit intérieur au secteur privé en % du PIB (1998-2006) | Banque mondiale 2007c | La capacité sociale augmente avec l'investissement |
| | Gouvernance | WGI (Indice mondial de gouvernance) participation et transparence | Kaufman, Kraay et Mastruzzi 2008 | La capacité sociale augmente avec l'indice WGI |

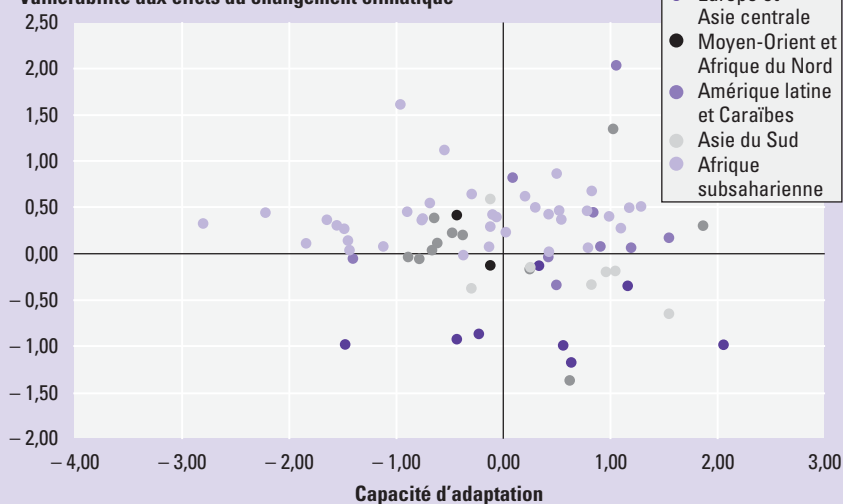
ENCADRÉ 6.8 Vulnérabilité climatique et capacité d'adaptation

Le diagramme représente les valeurs prises par une fonction de l'indice des effets par rapport à une mesure de la performance d'un pays (basée à la fois sur la capacité de l'administration centrale et sur la capacité d'absorption financière), établie par la formule d'allocation de l'IDA.

La capacité d'adaptation est un indice composite des indicateurs décrits dans le tableau ci-après. Elle est calculée au moyen de la formule suivante :
Performance-pays = $0,24 \times$ moyenne (CPIAa, CPIAb et CPIAc) + $0,68 \times$ CPIAd + $0,08 \times$ ARPP

CPIA = Évaluation de la politique et des institutions nationales ; ARPP = Rapport annuel sur la performance du portefeuille.

Vulnérabilité aux effets du changement climatique



| | Indicateur | Mesure (année) | Source | Hypothèses |
|-----------------------|---|--|-----------------|--|
| Capacité d'adaptation | Gestion économique | CPIAa (2007) | Banque mondiale | La capacité d'adaptation d'un pays augmente avec sa performance économique |
| | Mesures structurelles | CPIAb (2007) | Banque mondiale | |
| | Mesures en faveur de l'intégration sociale et de l'équité | CPIAc (2007) | Banque mondiale | |
| | Gestion du secteur public et institutions (gouvernance) | CPIAd (2007) | Banque mondiale | |
| | Capacité d'absorption financière | ARPP (2007) Portefeuille à risque de la Banque mondiale (en fonction de l'âge) | Banque mondiale | |

Sources : Chiffres CPIA : <http://go.worldbank.org/S2THW1X60>. Pour des précisions sur le calcul des scores CPIA, voir Banque mondiale 2007b. Pour les scores ARPP (rapport annuel sur la performance du portefeuille), voir Banque mondiale 2007a.

carbone sont autant d'options qui permettraient, chacune, de générer près de 15 milliards de dollars par an.

Les mesures d'atténuation prises au niveau national devront, quant à elles, essentiellement être financées par le secteur privé. L'État devra toutefois s'employer à créer un environnement porteur, qui encourage les entreprises à investir dans les technologies à faible intensité de carbone, notamment, mais pas seulement, en élargissant la portée d'un marché du carbone efficace et bien réglementé. Un complément de financement public – probablement sous forme de transferts budgétaires – pourrait s'avérer nécessaire pour surmonter les obstacles à l'investissement (notamment ceux liés au risque) et couvrir des domaines vers lesquels le secteur privé ne se tournera probablement pas. Il faudra

aussi fixer de rigoureux objectifs d'émissions – pour les pays à revenu élevé dans un premier temps, puis pour de nombreux autres pays – afin de créer une demande suffisante de contreparties aux émissions de carbone et soutenir le prix du carbone.

Une fois que des plafonds d'émissions auront été établis pour la plupart des pays dans le cadre d'un accord climatique international, les marchés pourront générer de manière autonome l'essentiel des fonds d'atténuation nécessaires aux pays parce que les décisions de consommation et de production seront fonction des prix du carbone, soit par le biais des taxes prélevées sur le carbone soit par le jeu du mécanisme de plafonnement et d'échange. Les marchés nationaux du carbone ne généreront toutefois pas automatiquement des

flux financiers internationaux. Les fonds destinés à financer des mesures d'atténuation dans les pays en développement peuvent provenir de transferts budgétaires, de liens établis entre les systèmes nationaux d'échange de droits d'émission ou éventuellement des échanges d'UQA. Les pays développés peuvent donc procurer des financements aux pays en développement de différentes manières. Mais ces apports sont essentiels si l'on veut trouver une solution efficace et rationnelle au problème climatique qui sera aussi une solution équitable.

Notes

1 Voir l'abrégé pour de plus amples détails.

2 Barker *et al.* 2007.

3 CCNUCC 2008a.

4 Agrawala et Fankhauser (2008) passent en revue les études portant sur les coûts d'adaptation ; Klein et Persson (2008) examinent le lien entre adaptation et développement. Parry *et al.* (2009) évaluent les estimations de la CCNUCC sur les coûts d'adaptation qui, à leur avis, pourraient en fait être deux à trois fois plus élevés.

5 Outre les marchés du carbone, les systèmes d'échange de certificats verts et de certificats blancs (qui visent respectivement à promouvoir les énergies renouvelables et à améliorer la maîtrise de l'énergie par des mesures de gestion de la demande) sont d'autres exemples de mécanismes fondés sur le marché qui pourraient procurer des avantages au plan de l'atténuation. D'autres instruments peuvent aussi être employés, notamment des incitations financières (taxes ou subventions, soutien des prix, allègements fiscaux sur les investissements ou prêts bonifiés) ainsi que d'autres mesures et stratégies (normes, étiquetage).

6 Le gain financier pour les pays hôtes est inférieur au gain total pouvant être tiré du marché du MDP, et ce pour deux raisons. Tout d'abord, la grande majorité des transactions du MDP sur le marché primaire sont des contrats d'achat à terme, et le paiement est effectué lorsque les réductions d'émissions se matérialisent. Le montant et le calendrier de livraison des crédits carbone varient considérablement en fonction des résultats des projets. Les promoteurs des projets vendent à terme des crédits souvent avec une décote pour tenir compte de ces risques de livraison. Deuxièmement, les crédits MDP changent

plusieurs fois de mains sur le marché secondaire avant d'atteindre l'utilisateur final. Les intermédiaires financiers sur le marché secondaire qui assument le risque de livraison sont rémunérés par l'obtention d'un prix de vente plus élevé si le risque ne se matérialise pas. Ces transactions ne donnent pas directement lieu à des réductions d'émissions, contrairement aux transactions sur le marché primaire. Le marché secondaire MDP a continué de se développer en 2008, puisque les transactions se sont chiffrées à plus de 26 milliards de dollars (soit cinq fois plus qu'en 2007). En revanche, la valeur du marché primaire a diminué pour la première fois, pour tomber à 7,2 milliards de dollars (soit un recul de 12 % par rapport aux niveaux de 2007), victime du ralentissement économique et de l'incertitude qui pèse sur l'avenir du marché au-delà de 2012. Voir Capoor et Ambrosi 2009.

7 OCDE/CAD, Rio Marker for climate change, http://www.oecd.org/document/11/0,3343,en_2649_34469_11396811_1_1_1_1,00.html (site consulté en mai 2009).

8 PNUE 2009. Les estimations des investissements dans les énergies propres qui bénéficient du MDP ont tendance à être supérieures au montant effectif des investissements des pays en développement dans les énergies viables parce que bon nombre des projets MDP en sont encore à un stade précoce (ils ne sont pas encore opérationnels ou bien leur montage financier n'a pas été arrêté) au moment des transactions sur URCE.

9 Voir Décision 1/CP.13, treizième Conférence des Parties à la CCNUCC, Bali, décembre 2007, <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06a01.pdf#page=3> (site consulté le 3 juillet 2009).

10 Michaelowa et Pallav (2007) et Schneider (2007), par exemple, pensent qu'un certain nombre de projets auraient été de toute façon mis en œuvre. En revanche, les entreprises se plaignent de la rigueur excessive du critère d'additionalité (IETA 2008 ; CCNUCC 2007).

11 Olsen 2007 ; Sutter et Parreno 2007 ; Olsen et Fenhann 2008 ; Nussbaumer 2009.

12 Cosby *et al.* 2005 ; Brown *et al.* 2004 ; Michaelowa et Umamaheswaran 2006.

13 Streck et Chagas 2007 ; Meijer 2007 ; Streck et Lin 2008.

14 IETA 2005 ; Stehr 2008.

15 IETA 2008.

16 Michaelowa et Pallav 2007 ; IETA 2008.

17 Barker *et al.* 2007.

18 Sperling et Salon 2002.

« Les glaciers fondent parce qu'il fait plus chaud. Le garçon qui est assis est contrarié. Un oiseau est tombé – une autre victime de la pollution atmosphérique. Les fleurs qui poussent à côté de la poubelle meurent avant que le garçon ne puisse les donner à l'oiseau. Pour que la situation change, j'implore les dirigeants mondiaux de garder la nature propre, d'utiliser l'énergie solaire et éolienne, et d'améliorer les technologies. »

— Shant Hakobyan, 12 ans (Arménie).



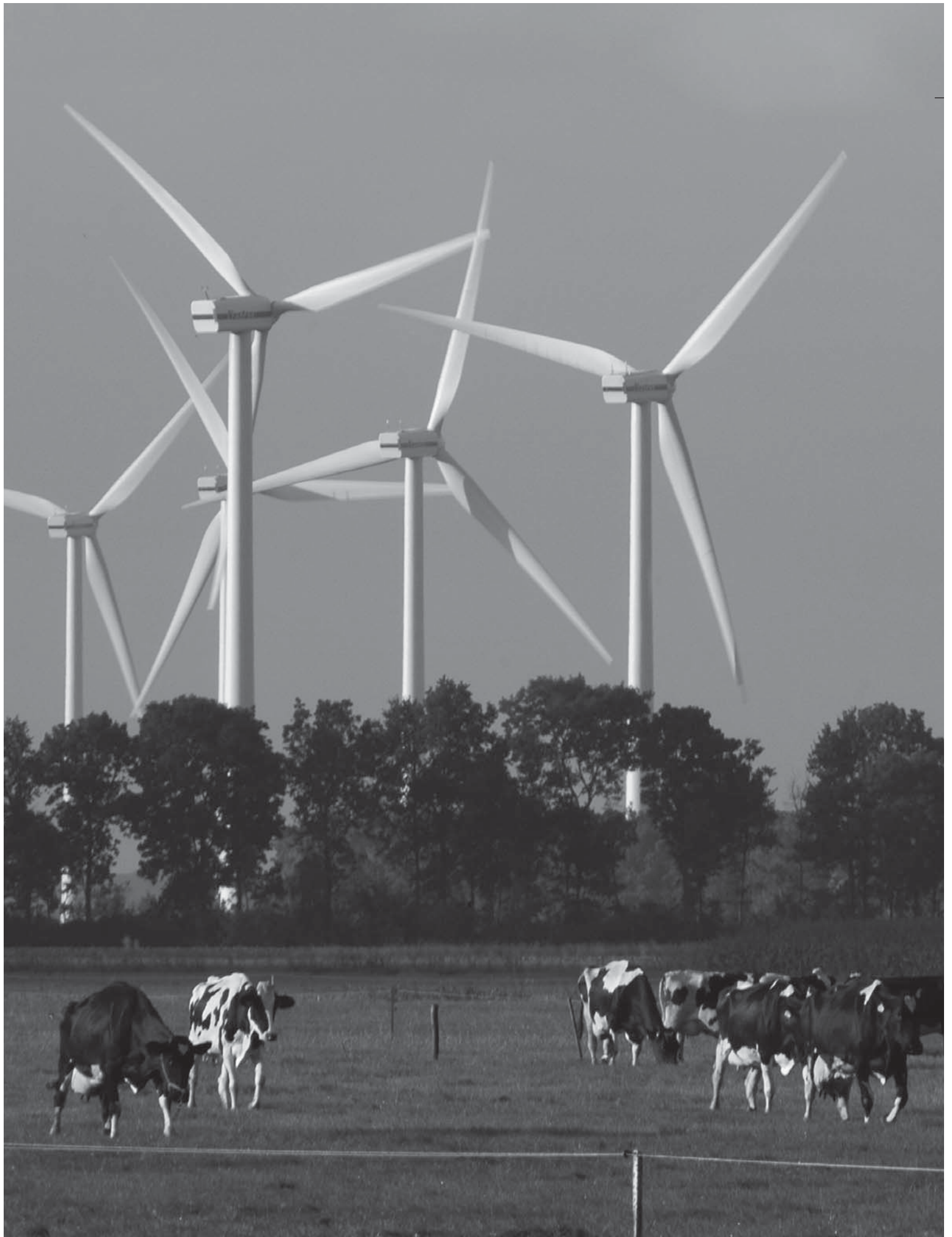
- 19 Figueres et Newcombe 2007.
 20 Eliasch 2008.
 21 Figueres, Haites et Hoyt 2005 ; Wara 2007 ; Wara et Victor 2008.
 22 Sterk 2008.
 23 Voir Fankhauser, Martin et Prichard (à paraître).
 24 Voir Müller 2008.
 25 Barbier 2009 ; Bowen *et al.* 2009.
 26 Robins, Clover et Magness 2009 (voir chapitre 1).
 27 Certains modèles supposent que les réductions d'émissions sont rémunérées en fonction des secteurs, d'autres reposent sur différents types d'objectifs, tels que la réduction de l'intensité de carbone ou du niveau absolu ou relatif des émissions. Les crédits peuvent être attribués au niveau national ou au titre de projets. Ils peuvent être basés sur une allocation initiale de quotas d'émission (système de plafonnement et d'échange) ou alloués ex post (octroi de crédits si les niveaux d'émissions sont ramenés en dessous d'un seuil de référence). Et ils peuvent être liés ou non aux marchés existants du carbone. Les mécanismes basés sur les échanges de quotas d'émissions peuvent être directement ou indirectement liés aux autres marchés du carbone et générer des crédits entièrement ou partiellement fongibles, ou non fongibles, avec ceux émis sur les marchés existants.
 28 Même si les pays à revenu élevé atteignent les objectifs de réduction retenus, le volume total des émissions ne baisserait que de 10 à 15 % par rapport aux niveaux de 1990 à l'horizon 2020, soit beaucoup moins que les réductions de 25 à 40 % recommandées par le GIEC à ce même horizon ; voir Howes 2009.
 29 WRI 2008 ; Houghton 2009.
 30 Danielsen *et al.* 2009.
 31 Vagliasindi 2008.
 32 Pollitt 2008.
 33 Agrawala et Fankhauser 2008.
 34 Les engagements au titre d'investissements dans le cadre de partenariats public-privé ont représenté entre 0,3 et 0,4 % du PIB des pays en développement sur la période 2005-2007 (Base de données sur la participation du secteur privé aux travaux d'infrastructure, <http://ppi.worldbank.org/>), alors que les besoins d'investissement dans l'infrastructure sont de l'ordre de 2 à 7 % du PIB selon les estimations (les besoins annuels se chiffrent à 7 % du PIB dans les pays à croissance rapide comme la Chine et le Viet Nam). Estache et Fay 2007.
 35 Estache 2008.
 36 Kanbur 2005.
 37 Füssel 2007.
 38 Diverses études ont été consacrées à l'impact du changement climatique et la vulnérabilité, notamment : Bättig, Wild et Imboden (2007) ; Deressa, Hassan et Ringler (2008) ; Diffenbaugh *et al.* (2007) ; et Giorgi (2006). D'autres travaux portent sur les pertes sectorielles ou présentent des études de cas sur la vulnérabilité de certains pays : voir Dasgupta *et al.* (2007) sur les zones côtières ; Parry *et al.* (1999) et Parry *et al.* (2004) sur l'évolution des rendements agricoles mondiaux ; Arnell (2004) et Alcamo et Henrichs (2002) sur l'évolution des ressources en eau ; Tol, Ebi et Yohe (2006) et Bosello, Roson et Tol (2006) pour l'impact sur la santé.
 39 Dans les encadrés 6.7 et 6.8, le calcul des indices composites donne lieu à la transformation des indicateurs en scores-z et à l'utilisation de la moyenne non pondérée de ces scores.

Références bibliographiques

- Agrawala, S. et Fankhauser, S., *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 2008.
 AIE (Agence internationale de l'énergie), *Energy Technology Perspective 2008: Scenarios and Strategies to 2050*, IEA, Paris, 2008.
 Alcamo, J. et Henrichs, T., « Critical Regions: A Model-based Estimation of World Water Resources Sensitive to Global Changes », *Aquatic Sciences*, 64 (4), p. 352-62, 2002.
 Aldy, J. E., Ley, E. et Parry, I., *A Tax-Based Approach to Slowing Global Climate Change*, Resources for the Future, Washington, 2008.
 Arnell, N. W., « Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios », *Global Environmental Change*, 14 (1), p. 31-52, 2004.
 Banque mondiale, « Annual Report On Portfolio Performance, Fiscal Year 2006 », Groupe d'assurance de qualité, Banque mondiale, Washington, 2007a.
 Banque mondiale, « Country Policy And Institutional Assessments 2007: Assessment Questionnaire », Politiques opérationnelles et services aux pays de la Banque mondiale, Banque mondiale, Washington, 2007b.
 Banque mondiale, *World Development Indicators 2007*, Banque mondiale, Washington, 2007c.
 Banque mondiale, *The Economics of Adaptation to Climate Change*, Banque mondiale, Washington, 2009.
 Bättig, M. B., Wild, M. et Imboden, D. M., « A Climate Change Index: Where Climate Change May Be Prominent in the 21st Century », *Geophysical Research Letters*, 34 (1), p. 1-4, 2007.
 Barbier, E. B., *A Global Green New Deal*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève, 2009.
 Barker, T., Bashmakov, I., Bernstein, L., Bogner, J. E., Bosch, P. R., Dave, R., Davidson, O. R., Fisher, B. S., Gupta, S., Halsnaes, K., Heij, B., Khan Ribeiro, S., Kobayashi, S., Levine, M. D., Martino, D. L., Masera, O., Metz, B., Meyer, L. A., Nabuurs, G.-J., Najam, A., Nakićenović, N., Rogner, H.-H., Roy, J., Sathaye, J., Schock, R., Shukla, P., Sims, R. E. H., Smith, P., Tirpak, D. A., Urge-Vorsatz, D. et Zhou, D., « Technical Summary », *Climate Change 2007: Mitigation*, Contribution au groupe de travail III du quatrième rapport d'évaluation du GIEC, ed. B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave et L. A. Meyer, Presse Universitaire de Cambridge, Cambridge, 2007.
 Bosello, F., Roson, R. et Tol, R. S. J., « Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health », *Ecological Economics*, 58 (3), p. 579-91, 2006.
 Bovenberg, A. L. et Goulder, L., « Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General Equilibrium Analyses », *American Economic Review*, 86 (4), p. 985-1000, 1996.
 Bowen, A., Fankhauser, S., Stern, N. et Zenghelis, D., *An Outline of the Case for a « Green » Stimulus*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment et Centre for Climate Change Economics and Policy, Londres, 2009.
 Brown, K., Adger, W. N., Boyd, E., Corbera-Elizalde, E. et Shackley, S., « How Do CDM Projects Contribute to Sustainable Development? », *Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report 16*, Norwich, 2004.
 Burnside, C. et Dollar, D., « Aid, Policies and Growth », *American Economic Review*, 90 (4), p. 847-68, 2000.

- Capoor, K. et Ambrosi, P., *State and Trends of the Carbon Market 2009*, Banque mondiale, Washington, 2009.
- CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), *Call for Input on Non-Binding Best-Practice Examples on the Demonstration of Additionality to Assist the Development of PDDs, Particularly for SSC Project Activities*, CCNUCC, Bonn, 2007.
- CCNUCC, *Investment and Financial Flows to Address Climate Change: An Update*, CCNUCC, Bonn, 2008a.
- CCNUCC, *Mechanisms to Manage Financial Risk from Direct Impacts of Climate Change*, CCNUCC, Bonn, 2008b.
- Cosbey, A., Parry, J., Browne, J., Babu, Y. D., Bhandari, P., Drexhage, J. et Murphy, D., *Realizing the Development Dividend: Making the CDM Work for Developing Countries*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, 2005.
- CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), « EM-DAT: The International Emergency Disasters Database », Université catholique de Louvain, École de santé publique, Louvain, 2008.
- Danielsen, F., Burgess, N. D., Balmford, A., Donald, P. F., Funder, M., Jones, J. P., Alviola, P., Balete, D. S., Blomley, T., Brashares, J., Child, B., Enghoff, M., Fieldsa, J., Holt, S., Hubertz, H., Jensen, A. E., Jensen, P. M., Massao, J., Mendoza, M. M., Nqaqa, Y., Poulsen, M. K., Rueda, R., Sam, M., Skielboe, T., Stuart-Hill, G., Topp-Jorgensen, E. et Yonten, D., « Local Participation in Natural Resource Monitoring: a Characterization of Approaches », *Conservation Biology*, 23 (1), p. 31-42, 2009.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Meisner, C., Wheeler, D. et Yan, J., « The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis », *document de travail de recherche sur les politiques* n° 4136, Banque mondiale, Washington, 2007.
- Dechezleprêtre, A., Glachant, M., Hascic, I., Johnstone, N. et Menière, Y., *Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies on a Global Scale: A Study Drawing on Patent Data*, CERNA, Paris, 2008.
- Deressa, T., Hassan, R. M. et Ringler, C., « Measuring Ethiopian Farmers' Vulnerability to Climate Change Across Regional States », *Discussion Paper 00806*, International Food Policy Research Institute, Washington, 2008.
- Diffenbaugh, N. S., Giorgi, F., Raymond, L. et Bi, X., « Indicators of 21st Century Socioclimatic Exposure », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (51), p. 20195-98, 2007.
- Edmonds, J., Clarke, L., Lurz, J. et Wise, M., « Stabilizing CO₂ Concentrations with Incomplete International Cooperation », *Climate Policy*, 8 (4), p. 355-76, 2008.
- Eliasch, J., *Climate Change: Financing Global Forests: The Eliasch Review*, Earthscan, Londres, 2008.
- Estache, A., *Public-Private Partnerships for Climate Change Investments: Learning from the Infrastructure PPP Experience*, ECARES (European Center for Advanced Research in Economics and Statistics), Bruxelles, 2008.
- Estache, A. et Fay, M., « Current Debates on Infrastructure Policy », *document de travail de recherche sur les politiques* n°4410, Banque mondiale, Washington, 2007.
- Fankhauser, S., Martin, N. et Prichard, S., « The Economics of the CDM Levy: Revenue Potential, Tax Incidence, and Distortionary Effects », *document de travail de la London School of Economics*, à paraître.
- Figueres, C., Haites, E. et Hoyt, E., *Programmatic CDM Project Activities: Eligibility, Methodological Requirements and Implementation*, Unité de financement du marché du carbone de la Banque mondiale, Banque mondiale, Washington, 2005.
- Figueres, C. et Newcombe, K., « Evolution of the CDM: Toward 2012 and Beyond », *Climate Change Capital*, Londres, 2007.
- Füssel, H. M., « Vulnerability: A Generally Applicable Conceptual Framework for Climate Change Research », *Global Environmental Change*, 17 (2), p. 155-67, 2007.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), *Climate Change 2007: Mitigation*, contribution au groupe de travail III du quatrième rapport d'évaluation du GIEC, Presse Universitaire de Cambridge, 2007.
- Giorgi, F., « Climate Change Hot-Spots », *Geophysical Research Letters*, 33(8), L08707–doi, p. 10.1029/2006GL025734, 2006.
- Haites, E., Maosheng, D. et Seres, S., « Technology Transfer by CDM Projects », *Climate Policy*, 6, p. 327-44, 2006.
- Houghton, R. A., « Emissions of Carbon from Land Management », *note d'information de la WDR 2010*, 2009.
- Howes, S., *Finding a Way Forward: Three Critical Issues for a Post-Kyoto Global Agreement on Climate Change*, Crawford School of Economics and Government, Australian National University, Canberra, 2009.
- IDA (Association internationale de développement), *IDA's Performance Based Allocation System: Simplification of the Formula and Other Outstanding Issues*, Washington, 2007.
- IETA (Association internationale pour l'échange de droits d'émission), *Strengthening the CDM: Position Paper for COP 11 and COP/MoP 1*, IETA, Genève, 2005.
- IETA, *State of the CDM 2008: Facilitating a Smooth Transition into a Mature Environmental Financing Mechanism*, IETA, Genève, 2008.
- IIASA (Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués), *GGI Scenario Database*, Laxenburg, Austria, 2009.
- Kanbur, R., « Reforming the Formula: A Modest Proposal for Introducing Development Outcomes in IDA Allocation Procedures », note 4971 du Centre for Economic Policy Research, Londres, 2005.
- Kaufman, D., Kraay, A. et Mastruzzi, M., *World Governance Indicators 2008*, Banque mondiale, Washington, 2008.
- Klein, R. J. T. et Persson, A., « Financing Adaptation to Climate Change: Issues and Priorities », *European Climate Platform Report*, 8, Centre d'études des politiques européennes, Bruxelles, 2008.
- Knopf, B., Edenhofer, O., Barker, T., Bauer, N., Baumstark, L., château, B., Criqui, P., Held, A., Isaac, M., Jakob, M., Jochem, E., Kitous, A., Kypreos, S., Leimbach, M., Magné, B., Mima, S., Schade, W., Scricciu, S., Turton, H. et van Vuuren, D., « The Economics of Low Stabilisation: Implications for Technological Change and Policy », *Making Climate Change Work for Us*, ed. M. Hulme and H. Neufeldt, Presse Universitaire de Cambridge, Cambridge, à paraître.
- McKinsey & Company, *Pathways to a Low-carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*, McKinsey & Company, 2009.
- Meijer, E., « The International Institutions of the Clean Development Mechanism Brought before National Courts: Limiting Jurisdictional Immunity to Achieve Access to Justice », *NYU Journal of International Law and Politics*, 39 (4), p. 873-928, 2007.
- Michaelowa, A. et Pallav, P., *Additionality Determination of Indian CDM Projects. Can Indian CDM Project Developers Outwit the CDM Executive Board?*, Université de Zurich, Zurich, 2007.

- Michaelowa, A. et Umamaheswaran, K., « Additionality and Sustainable Development Issues Regarding CDM Projects in Energy Efficiency Sector », proposition 346 du HWWA, Hambourg, 2006.
- Ministère des Finances (Indonésie), *Climate Change and Fiscal Policy Issues: 2008 Initiatives*, groupe de travail sur la politique budgétaire pour le changement climatique, Jakarta, 2008.
- Müller, B., « International Adaptation Finance: The Need for an Innovative and Strategic Approach », *Economic Working Paper 42*, Institut d'Oxford pour les études énergétiques, Oxford, 2008.
- Newell, R. G. et Pizer, W. A., « Regulating Stock Externalities Under Uncertainty », *document de travail* p. 99-10, Resources for the Future, Washington, 2000.
- Nussbaumer, P., « On the Contribution of Labelled Certified Emission Reductions to Sustainable Development: A Multi-criteria Evaluation of CDM Projects », *Energy Policy*, 37 (1), p. 91-101, 2009.
- Olsen, K. H., « The Clean Development Mechanism's Contribution to Sustainable Development: A Review of the Literature », *Climatic Change*, 84 (1), p. 59-73, 2007.
- Olsen, K. H. et Fenhann, J., « Sustainable Development Benefits of Clean Development Mechanism Projects. A New Methodology for Sustainability Assessment Based on Text Analysis of the Project Design Documents Submitted for Validation », *Energy Policy*, 36 (8), p. 2819-30, 2008.
- Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G. et Livermore, M., « Climate Change and World Food Security: A New Assessment », *Global Environmental Change*, 9 (S1), p. S51-S67, 1999.
- Parry, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. et Fischer, G., « Effects of Climate Change on Global Food Production Under SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios », *Global Environmental Change*, 14 (1), p. 53-67, 2004.
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S., Hope, C., Kovats, S., Nicholls, R., Satterthwaite, D., Tiffin, R. et Wheeler, T., *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, Londres, 2009.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), « UNEP Risoe CDM/JI Pipeline Analysis and Database », Roskilde, 2008.
- PNUE, *Global Trends in Sustainable Energy Investment 2009: Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency*, PNUE et New Energy Finance, Paris, 2009.
- Pollitt, M., « The Arguments For and Against Ownership Unbundling of Energy Transmission Networks », *Energy Policy*, 36 (2), p. 704-13, 2008.
- Project Catalyst, *Adaptation to Climate Change: Potential Costs and Choices for a Global Agreement*, Climate Works and European Climate Foundation, Londres, 2009.
- Robins, N., Clover, R. et Magness, J., *The Green Rebound: Clean Energy to Become an Important Component of Global Recovery Plans*, HSBC, Londres, 2009.
- Schaeffer, M., Kram, T., Meinshausen, M., van Vuuren, D. P. et Hare, W. L., « Near-linear Cost Increase to Reduce Climate Change Risk », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (52), p. 20621-26, 2008.
- Schneider, L., *Is the CDM Fulfilling Its Environmental and Sustainable Development Objective? An Evaluation of the CDM and Options for Improvement*, Institut de l'écologie appliquée, Berlin, 2007.
- Sperling, D. et Salon, D., *Transportation in Developing Countries: An Overview of Greenhouse Gas Reduction Strategies*, Centre Pew sur les changements climatiques globaux, Arlington, 2002.
- Stehr, H. J., « Does the CDM Need and Institutional Reform? », *A Reformed CDM: Including New Mechanisms for Sustainable Development*, ed. K. H. Olsen and J. Fenhann, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Risoe Centre Perspective Series 2008, Roskilde, Danemark, 2008.
- Sterk, W., « From Clean Development Mechanism to Sectoral Crediting Approaches: Way Forward or Wrong Turn? », *JIKO Policy Paper 1/2008*, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal, 2008.
- Streck, C. et Chagas, T. B., « The Future of the CDM in a Post-Kyoto World », *Carbon & Climate Law Review*, 1 (1), p. 53-63, 2007.
- Streck, C. et Lin, J., « Making Markets Work: A Review of CDM Performance and the Need for Reform », *European Journal of International Law*, 19 (2), p. 409-42, 2008.
- Sutter, C. et Parreno, J. C., « Does the Current Clean Development Mechanism (CDM) Deliver Its Sustainable Development Claim? An Analysis of Officially Registered CDM Projects », *Climatic Change*, 84 (1), p. 75-90, 2007.
- Tol, R. S. J., Ebi, K. L. et Yohe, G. W., « Infectious Disease, Development, and Climate Change: A Scenario Analysis », *Environment and Development Economics*, 12, p. 687-706, 2006.
- Vagliasindi, M., « Climate Change Uncertainty, Regulation and Private Participation in Infrastructure », Note d'information pour la WDR 2010, 2008.
- Wara, M., « Is the Global Carbon Market Working? », *Nature*, 445, p. 595-96, 2007.
- Wara, M. et Victor, D., « A Realistic Policy on International Carbon Markets », Document de travail n°74, Program on Energy and Sustainable Development, Université de Stanford University, Stanford, 2008.
- Watson, C. et Fankhauser, S., « The Clean Development Mechanism: Too Flexible to Produce Sustainable Development Benefits? », document de travail pour la WDR 2010, 2009.
- Weitzman, M. L., « Prices vs. Quantities », *Review of Economic Studies*, 41 (4), p. 477-491, 1974.
- WRI (World Resources Institute), « Climate Analysis Indicators tool (CAIT) », Washington, 2008.



Accélérer l'innovation et la diffusion de nouvelles technologies

Bien avant la découverte de l'électricité, les paysages européens étaient parsemés de moulins à vent qui produisaient l'énergie nécessaire aux activités agricoles. Aujourd'hui, grâce à l'innovation et à la diffusion des technologies, l'énergie éolienne pourrait bien annoncer le début d'une véritable révolution énergétique. Entre 1996 et 2008, la puissance éolienne installée à l'échelle mondiale a été multipliée par 20 pour dépasser 120 gigawatts, ce qui a permis d'éviter l'émission d'un volume estimé à 158 millions de tonnes de dioxyde de carbone (CO₂) par an tout en créant quelque 400 000 emplois (figure 7.1)¹. Une bonne part de cette expansion a tenu aux incitations gouvernementales et à la recherche financée par des fonds publics et des intérêts

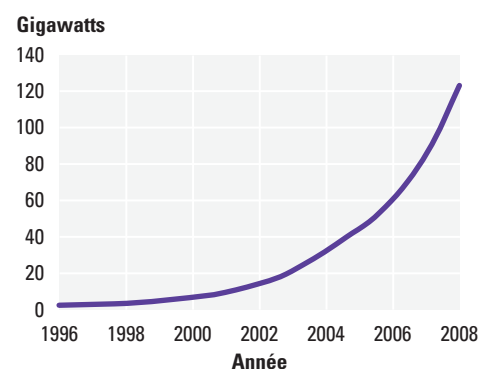
privés, qui ont permis de réduire le coût de la technologie éolienne tout en augmentant le rendement.

Bien que la majorité de la puissance installée se trouve en Europe et aux États-Unis, cette situation est en train de changer. En 2008, l'Inde et la Chine ont, chacune, installé une puissance éolienne plus importante que les autres pays, à l'exception des États-Unis, et elles détiennent actuellement, à elles deux, près de 20 % de la capacité mondiale. Une société indienne, Suzlon, qui emploie 13 000 personnes dans toute l'Asie, compte parmi les plus grands fabricants de turbines éoliennes au monde. L'essor mondial des technologies éoliennes ouvre ainsi la voie à un développement intelligent sur le plan climatique et les progrès complémentaires accomplis dans des domaines comme la constitution de données géospatiales sur les ressources

Idée force

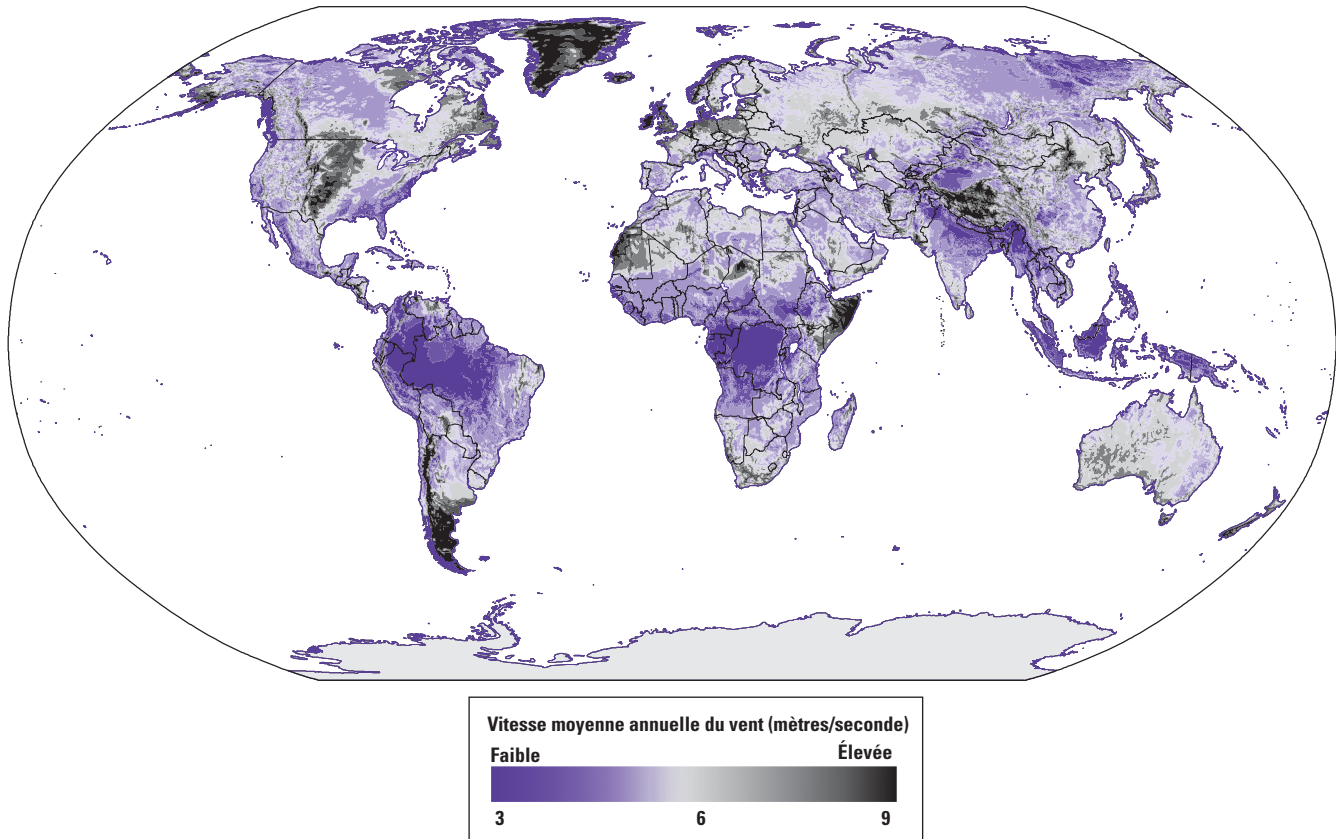
Pour faire face au changement climatique et atteindre les objectifs de développement, il faudra considérablement intensifier les efforts internationaux déployés pour diffuser les technologies existantes et pour en développer et déployer de nouvelles. Les investissements publics et privés – qui se chiffrent actuellement à des dizaines de milliards de dollars par an – devront considérablement augmenter pour atteindre plusieurs centaines de milliards de dollars par an. Des politiques de « stimulation par la technologie » fondées sur un volume croissant d'investissements publics dans la R-D ne suffiront pas. Elles devront s'accompagner de politiques « d'entraînement par le marché » offrant aux secteurs public et privé des incitations à faire preuve d'esprit d'entreprise, à collaborer et à rechercher des solutions novatrices hors des sentiers battus. Pour diffuser des technologies intelligentes sur le plan climatique, il ne sera pas possible de se contenter d'expédier des matériels prêts à l'emploi aux pays en développement ; il faudra constituer des capacités d'absorption et renforcer les moyens dont disposent les secteurs public et privé pour identifier, adopter, adapter, améliorer et employer les technologies les plus appropriées.

Figure 7.1 La puissance éolienne installée cumulée dans le monde a considérablement augmenté au cours des dix dernières années



Source : Conseil mondial de l'énergie éolienne, 2009.

Carte 7.1 Les progrès de la cartographie des vents offrent de nouvelles possibilités



Source : 3 Tier Inc.

Remarque : Cette carte, d'une résolution de 5 kilomètres, indique la vitesse moyenne annuelle du vent mesurée à une altitude de 80 mètres (hauteur de certaines éoliennes) au-dessus de la masse terrestre.

éoliennes mondiales facilitent le choix des sites d'implantation (carte 7.1).

La gestion du changement climatique à un coût raisonnable passe nécessairement par l'innovation technologique et les ajustements institutionnels qui doivent l'accompagner. Le renforcement de l'innovation et des capacités technologiques nationales peut devenir un catalyseur important du développement². Les économies à revenu élevé, qui sont les principales responsables des émissions à l'échelle mondiale, peuvent remplacer leurs technologies à forte intensité de carbone par des solutions intelligentes sur le plan climatique tout en investissant massivement dans des innovations qui produiront les grandes percées technologiques de demain. Les pays à revenu intermédiaire peuvent veiller à ce que leurs investissements favorisent une croissance à faible intensité de carbone et à ce que leurs sociétés tirent parti des technologies existantes pour être concurrentielles sur le marché mondial. Les pays à faible revenu peuvent s'assurer qu'ils disposent des capacités technologiques nécessaires pour s'adapter au changement climatique en identifiant, en évaluant, en adoptant les technologies existantes et en les améliorant grâce aux connaissances et au savoir-faire locaux. Comme indi-

qué au chapitre 8, il ne sera possible d'exploiter les avantages des transformations technologiques qu'au prix de profonds changements des comportements humains et organisationnels, et de l'adoption d'une multitude de mesures de soutien visant à réduire la vulnérabilité des populations humaines et à gérer les ressources naturelles.

Toutefois, les efforts internationaux déployés à ce jour pour innover et diffuser des technologies intelligentes sur le plan climatique sont loin d'être suffisants pour permettre une atténuation et une adaptation significatives au cours des décennies à venir. Les investissements dans la recherche, le développement, la démonstration et le déploiement (RDD-D) sont trop faibles, et la crise financière a eu pour effet de réduire les dépenses privées au titre de technologies intelligentes sur le plan climatique et d'en retarder la diffusion. Pour mobiliser les technologies et promouvoir l'innovation à une échelle appropriée, il faudra non seulement que les pays collaborent et mettent leurs ressources en commun mais aussi qu'ils élaborent des politiques nationales favorables à la mise en place de l'infrastructure nécessaire à la diffusion des connaissances et à un environnement commercial propice. La majorité des pays en développement, en parti-

culier les pays à faible revenu, ont des marchés de petite taille qui, individuellement, présentent peu d'intérêt pour les entrepreneurs désireux de lancer de nouvelles technologies. Il sera toutefois possible à des pays contigus de former une masse critique sous réserve d'une meilleure intégration économique régionale.

Il importera d'accroître considérablement la coopération internationale pour mobiliser des financements plus importants et formuler des moyens d'intervention stimulant la demande d'innovations intelligentes sur le plan climatique plutôt que de se contenter de lever des fonds pour subventionner la recherche. L'harmonisation internationale des incitations réglementaires (telles que la tarification du carbone) peut avoir un effet multiplicateur sur l'investissement en créant des économies d'échelle et une dynamique propice aux technologies intelligentes sur le plan climatique. L'attribution de prix pour récompenser l'innovation et l'offre de subventions pour encourager la passation de marchés sont autant de mesures qui peuvent générer une demande et stimuler l'ingéniosité. Et lorsque les activités de recherche prioritaires ont des coûts élevés, il est possible de conjuguer les efforts de RDD-D pour repousser les frontières techniques. Il importera aussi d'élargir la définition du concept de transfert de technologies pour inclure les capacités des pays à absorber les technologies existantes. Un traité international sur le climat qui met l'accent sur des systèmes ou des sous-systèmes technologiques spécifiques offre une occasion unique de le faire et il sera plus facile de conclure un accord si les dispositions relatives au partage des coûts sont liées à celles concernant les transferts de technologies.

En adoptant des mesures complémentaires, les pays ont la possibilité d'assurer une sélection, une adaptation et une absorption efficaces des technologies. Mais l'identification, l'évaluation et l'intégration de technologies étrangères imposent des coûts d'apprentissage souvent négligés, tout comme leur modification et leur amélioration. Il importe donc de constituer les capacités nécessaires à cette fin en soutenant l'infrastructure nécessaire à la diffusion des connaissances au niveau des universités, des instituts de recherche et des entreprises.

Ce chapitre fait fond sur l'analyse des systèmes dans le cadre desquels la technologie a décliné ou prospéré et sur la multitude de politiques et de facteurs qui ont été des obstacles ou des catalyseurs, pour brosser une esquisse de ce qui peut être accompli lorsque certaines politiques sont poursuivies de concert et leur portée élargie. Il décrit dans un premier temps l'importance du rôle de la technologie dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les outils nécessaires pour faire progresser l'adaptation au changement climatique, et la contribution de ces deux éléments à la création d'économies compétitives. Il évalue ensuite le fossé qui sépare les phases d'invention ou d'innovation et la phase de diffusion généralisée sur le marché et, pour finir,

examine comment les politiques internationales et nationales peuvent combler ce fossé.

Des outils, technologies et institutions appropriés peuvent mettre un monde intelligent sur le plan climatique à notre portée

Pour éviter que les températures mondiales n'augmentent de plus de 2 °C, il faudra que les émissions mondiales de gaz à effet de serre diminuent de 50 à 80 % au cours des décennies à venir. À court terme, il serait possible de les réduire dans une mesure considérable en accélérant le déploiement des technologies d'atténuation existantes dans les pays qui sont de gros émetteurs.

Mais les objectifs d'émissions plus ambitieux retenus pour le moyen terme ne pourront pas être atteints sans percées technologiques. Les modèles montrent que le rendement énergétique, le piégeage et le stockage du carbone, les énergies renouvelables de la prochaine génération, dont la biomasse, l'énergie éolienne et solaire, et l'énergie nucléaire pourraient à terme constituer les quatre pierres angulaires technologiques d'une solution (voir chapitre 4)³. Il faut donc déployer de plus amples efforts de recherche, développement et démonstration (RD-D) dans ces quatre domaines pour déterminer si les technologies correspondantes pourront être rapidement déployées sur le marché sans conséquence néfaste.

Bien qu'elles soient très prometteuses, les stratégies de réduction des émissions à court et à moyen terme se heurtent à des obstacles considérables. Les technologies d'utilisation finale qui améliorent les rendements et utilisent des sources générant peu d'émissions offrent la possibilité de réduire la demande énergétique totale à condition, toutefois, que les comportements des utilisateurs et des entreprises se modifient (voir chapitre 8). Le piégeage et le stockage du carbone pourraient jouer un rôle important sous réserve qu'il soit possible d'identifier des sites géologiquement appropriés à proximité des centrales électriques et que les pouvoirs publics fournissent les ressources et prennent les mesures nécessaires pour permettre de piéger le carbone à long terme⁴. La biotechnologie et les biocarburants de deuxième génération pourraient largement contribuer à modérer les émissions de carbone, au prix toutefois de l'affectation de superficies plus importantes à cette fin (voir chapitre 3). Les énergies éolienne et solaire (photovoltaïque et thermique) pourraient se développer plus rapidement mais il faudrait pour cela que les possibilités de stockage et transport de l'électricité s'améliorent. Il serait possible, par ailleurs, d'installer de nombreuses centrales nucléaires de dernière génération dans le monde à condition, toutefois, de pouvoir surmonter les obstacles institutionnels, les problèmes de sécurité et de prolifération et la résistance des populations de différents pays. Pour certains, la géo-ingénierie offre la possibilité non seulement de réduire les taux

ENCADRÉ 7.1 *La géo-ingénierie ou comment sauver le monde du changement climatique*

Compte tenu du rythme du changement climatique, il est possible que les mesures d'atténuation et d'adaptation actuellement proposées ne soient pas suffisantes pour éviter des impacts considérables. C'est dans ce contexte que le potentiel de la géo-ingénierie semble retenir de plus en plus l'attention. La géo-ingénierie peut être définie comme les actions ou interventions ayant pour principal objectif de limiter les causes du changement climatique ou les impacts de ce dernier. Elle s'entend des mécanismes conçus dans le but d'améliorer l'absorption ou la fixation par les océans ou la végétation du dioxyde de carbone (CO₂), de dévier ou réfléchir la lumière du soleil ou encore de stocker dans des réservoirs le CO₂ produit par la consommation énergétique. Ce dernier mécanisme étant examiné au chapitre 4, l'analyse ne porte ici que sur les deux premiers.

Les options proposées pour séquestrer de plus grandes quantités de dioxyde de carbone comprennent les pratiques de gestion terrestre, examinées au chapitre 3, qui augmentent la quantité de carbone piégé dans les sols ou les arbres. Mais il en existe d'autres, qui consistent notamment à stimuler la croissance du phytoplancton et la prolifération d'algues dans les océans en ajoutant les nutriments nécessaires, tels que fer ou urée. Ces minuscules plantes absorbent le dioxyde de carbone des eaux de surface par photosynthèse. L'efficacité des efforts de stimulation de ce processus dépend de ce que devient, à long terme, le CO₂ ainsi absorbé ; s'il est intégré dans les déjections des animaux planctoniques et déposé sur les fonds marins, le CO₂ sera essentiellement retiré du système pendant des millénaires. Toutefois, de récentes études montrent que les évaluations quantitatives antérieures ont probablement considérablement surestimé la capacité d'élimination de carbone. Il faudra par ailleurs poursuivre les expériences concernant la durée de séquestration et les impacts toxicologiques que pourraient avoir une augmentation brusque des quantités de fer et d'urée dans les écosystèmes marins. Si de nouvelles études confirment son potentiel, cette option de géo-ingénierie pourrait être rapidement mise en œuvre à une échelle pertinente.

L'apport d'eau fraîche et riche en nutriments à la surface de l'océan pourrait également stimuler la productivité marine et, éventuellement, éliminer le CO₂ de la surface de l'eau. Un tel rafraîchissement serait également bénéfique aux coraux, qui sont très sensibles à l'élévation des températures. Enfin, le rafraîchissement des eaux de surface pourrait atténuer l'intensité des ouragans. Les premiers travaux de recherche consacrés à une pompe alimentée par énergie houlomotrice, conçue pour faire monter de l'eau fraîche à la surface laissent penser que ce système pourrait produire de bons résultats ; il faudra néanmoins étudier la question de manière beaucoup approfondie. Les autres options de géo-ingénierie proposées pour éliminer des gaz à effet de serre comprennent le nettoyage de l'atmosphère à l'aide d'une solution absorbant le CO₂ (puis la séquestration du carbone ainsi piégé sous la surface terrestre ou dans les grands fonds océaniques), et l'utilisation de lasers pour détruire les molécules d'halocarbone qui ont une longue durée de vie – mieux connues pour leur contribution à l'appauvrissement de la couche d'ozone, ces molécules sont également de puissants gaz à effet de serre (se reporter au Thème A intitulé « Les bases scientifiques du changement climatique »). Ces techniques n'en sont encore qu'à un stade très expérimental. Plusieurs approches ont été proposées pour réfléchir la lumière du soleil. Certaines d'entre elles pourraient être utilisées dans des régions bien déterminées, pour arrêter la fonte des glaces marines arctiques ou de la calotte glaciaire du Groenland, par exemple. L'une des techniques proposées consiste à injecter des aérosols sulfatés dans l'atmosphère. Il s'agit d'une méthode efficace de refroidissement, comme en atteste l'éruption du Mont Pinatubo en 1991 qui a entraîné une baisse des températures mondiales de près de 1 °C pendant un an environ. Mais l'effet de refroidissement ne pourrait être maintenu qu'au prix de flux constants ou d'injections régulières d'aérosols dans l'atmosphère. Les aérosols sulfatés peuvent par ailleurs exacerber l'appauvrissement de la couche d'ozone, augmenter les pluies acides et avoir des effets défavorables sur la santé.

Une autre solution consisterait à pulvériser de l'eau de mer dans l'atmosphère à partir d'une flotte de navires automatisés, de sorte à « blanchir » et à augmenter la réflectivité des nuages bas qui couvrent un quart des océans de la planète. Une répartition inégale des nuages pourrait toutefois produire des points chauds et froids à l'échelle des régions et provoquer des sécheresses dans les zones sous le vent par rapport aux navires.

Il pourrait aussi être souhaitable d'accroître la réflectivité des terres émergées. Adopter le blanc ou une couleur pâle pour les toitures et les revêtements routiers contribuerait à réduire le réchauffement de la planète d'une part en permettant de réaliser des économies d'énergie et, d'autre part, en réfléchissant la lumière du soleil vers l'espace, et aurait le même impact que la mise hors circulation de toutes les voitures du monde entier pendant 11 ans.

Il a aussi été proposé de placer un déflecteur solaire entre le soleil et la terre. Un disque d'environ 1 400 km de diamètre pourrait réduire le rayonnement solaire d'environ 1 %, ce qui équivaldrait au forçage radiatif des émissions indiquées par les projections pour le XXI^e siècle. Les analyses réalisées montrent toutefois que le moyen le plus efficace au plan des coûts de poursuivre cette stratégie consisterait à installer sur la Lune les équipements nécessaires pour construire ce déflecteur, ce qui tient de la gageure. Dans le même ordre d'idées, il a été envisagé d'utiliser un très grand nombre de miroirs (par exemple, en mettant en orbite 55 000 miroirs solaires ayant chacun une superficie de 10 km²). Mais comme il se produirait une éclipse du soleil chaque fois qu'un miroir passerait entre le soleil et la Terre, la lumière du soleil clignoterait à la surface de la Terre.

Des propositions de géo-ingénierie visant plutôt à modifier le climat ont même été soumises, telles les tentatives de renvoi des tempêtes tropicales vers le large, loin des établissements humains, afin de réduire les dommages qu'elles peuvent provoquer. Bien que la recherche dans ces domaines fasse ses tous premiers pas, les modèles climatiques les plus récents commencent à pouvoir analyser leur efficacité potentielle, ce qui n'était pas possible lors des premières expériences de

ENCADRÉ 7.1 *La géo-ingénierie ou comment sauver le monde du changement climatique (suite)*

modification des ouragans réalisées il y a plusieurs décennies. Bien que des dispositifs de géo-ingénierie puissent être mis en place par un seul pays, leur impact sera ressenti par toutes les nations du monde. Il est donc impératif d'engager un débat sur les questions de gouvernance en ce domaine. Les essais de fertilisation des océans au moyen de particules de fer financés par des investisseurs ont lancé le débat sur l'entité ou l'institution internationale qui a compétence en ce domaine. Les

questions soulevées par l'utilisation de la géo-ingénierie pour limiter l'intensité des cyclones tropicaux ou du réchauffement de l'Arctique sont encore plus complexes. Il importe donc d'apporter un appui, non seulement à la recherche scientifique pour déterminer les approches possibles et leurs impacts, mais aussi à des études des aspects sociaux, éthiques, juridiques et économiques de ces interventions pour déterminer les mesures de géo-ingénierie qui peuvent ou ne peuvent pas être acceptées au niveau international.

Sources : S. Connor, « Climate Guru : 'Paint Roofs White.' » New Zealand Herald, May 28, 2009 ; American Meteorological Association, http://www.ametsoc.org/policy/2009geoengineeringclimate_amsstatement.html (consulté le 27 juillet 2009) ; Atmocean, Inc., <http://www.atmocean.com/> (consulté le 27 juillet 2009) ; MacCracken 2009 ; « Geo-engineering : Every Silver Lining Has a Cloud, » Economist, 29 janvier 2009 ; voir également U.S. Energy Secretary, Steven Chu, <http://www.youtube.com/watch?v=5wDlkKroOUQ>.

d'émission mais également d'atténuer l'impact du changement climatique (encadré 7.1).

Le rôle de la technologie et de l'innovation a été moins bien étudié dans le contexte de l'adaptation que dans celui de l'atténuation, mais il ne fait aucun doute que les conditions climatiques futures seront fondamentalement différentes de celles que nous connaissons aujourd'hui. La riposte à des changements sortant du cadre de l'expérience historique nécessitera une coordination institutionnelle accrue à l'échelle régionale, de nouveaux outils de planification et la capacité de répondre à de multiples pressions environnementales venant se greffer sur le changement climatique. Il sera nécessaire d'accroître les investissements pour comprendre les facteurs de vulnérabilité, réaliser des évaluations itératives et élaborer des stratégies pour aider les sociétés à faire face à l'évolution climatique⁵.

L'intégration des questions climatiques dans les stratégies de développement favorisera la réflexion sur l'adaptation⁶. Le chapitre 2 explique que, face au changement climatique, il faudra concevoir des infrastructures physiques appropriées et protéger la santé humaine. Le chapitre 3 montre que l'adaptation nécessitera de nouvelles méthodes de gestion des ressources naturelles. La diversification des systèmes énergétiques, des cultures et des activités économiques, par exemple, pourrait aussi aider les communautés à faire face à des conditions en rapide évolution. L'innovation sera un ingrédient nécessaire de toutes ces activités.

Il faudra aussi mener des travaux de recherche pour comprendre les effets du changement climatique et de différentes options d'adaptation dans chaque pays. Ces travaux devront établir les effets des nombreuses agressions dont sont victimes les systèmes naturels et socio-économiques, la biodiversité et les efforts menés pour la préserver, et les modifications de la circulation atmosphérique et océanique ; ils devront aussi produire de nouveaux outils de surveillance

et de nouvelles stratégies d'amélioration de la résistance aux chocs climatiques et assurer une meilleure planification des interventions d'urgence. Il importe donc que des capacités scientifiques existent au niveau national.

La capacité à mener des actions d'atténuation et d'adaptation contribuera à l'édification d'économies fortes et compétitives

De nombreuses technologies de pointe, notamment dans le domaine des technologies de l'information et de la communication, peuvent contribuer de manière spéciale aux efforts menés face au changement climatique tout en étant suffisamment génériques pour permettre d'améliorer la productivité dans de multiples autres sphères. Les capteurs sont d'une grande utilité en automatisation industrielle mais ils aident aussi les responsables de la gestion des déchets à limiter la pollution. Les téléphones portables facilitent les interventions en cas de catastrophe naturelle, comme dans le village côtier de Nallavadu (Inde) lors du tsunami de 2004⁷, mais ils peuvent également augmenter la productivité des entreprises. Dans certaines régions du Bénin, du Sénégal et de la Zambie, la téléphonie mobile est utilisée pour diffuser des informations sur les prix des denrées alimentaires et sur des pratiques culturelles novatrices⁸.

L'exploitation des possibilités technologiques découlant des préoccupations liées au changement climatique peut également être source de supériorité technologique et d'avantage concurrentiel. La Chine, par exemple, n'est pas encore irrémédiablement vouée à une croissance à forte intensité de carbone et a donc des opportunités considérables (et économiquement avantageuses) de sauter les étapes caractérisées par le recours aux anciennes technologies peu efficaces. Contrairement aux pays développés, la Chine n'a pas encore construit une grande partie de son patrimoine résidentiel et industriel pour la décennie à venir. En utilisant les tech-

nologies existantes, notamment en optimisant les systèmes motorisés (pompes et compresseurs), elle pourrait réduire sa demande énergétique industrielle de 20 % d'ici 2020 tout en augmentant sa productivité⁹.

La crise que traverse actuellement le monde peut être une opportunité favorable à l'innovation et à une croissance intelligente sur le plan climatique. Les crises stimulent l'innovation en créant un besoin urgent de mobiliser des ressources et en éliminant les obstacles qui entravent généralement l'innovation¹⁰. Le coût d'opportunité de la recherche et développement (R-D), qui représente un investissement à long terme, est, de surcroît, moindre en période de crise économique¹¹. Au début des années 90, la Finlande a essentiellement réussi à sortir de la profonde récession économique dans laquelle elle était plongée en se restructurant et en fondant son économie sur l'innovation, grâce à une forte augmentation de l'aide publique à la R-D, qui a préparé le terrain pour le secteur privé. Des résultats semblables pourraient provenir d'une R-D intelligente sur le plan climatique.

Par ailleurs, avec ses taux de rendement élevés, la R-D offre des opportunités inexploitées de croissance économique. Les évaluations des taux de rendement de la R-D se situent, en majorité, entre 20 et 50 %, soit nettement plus que les taux de rentabilité des investissements en capital¹². Les estimations indiquent également que les pays en développement pourraient investir deux fois plus qu'ils ne le font actuellement¹³. Toutefois, l'expérience montre que la R-D suit l'évolution du cycle économique pour augmenter en période d'expansion et diminuer en période de récession parce que les entreprises opèrent généralement dans une optique à court terme en période de crise, même si cette stratégie est loin d'être optimale¹⁴. Les plans de relance mis en place par de nombreux pays pour faire face à la crise sont

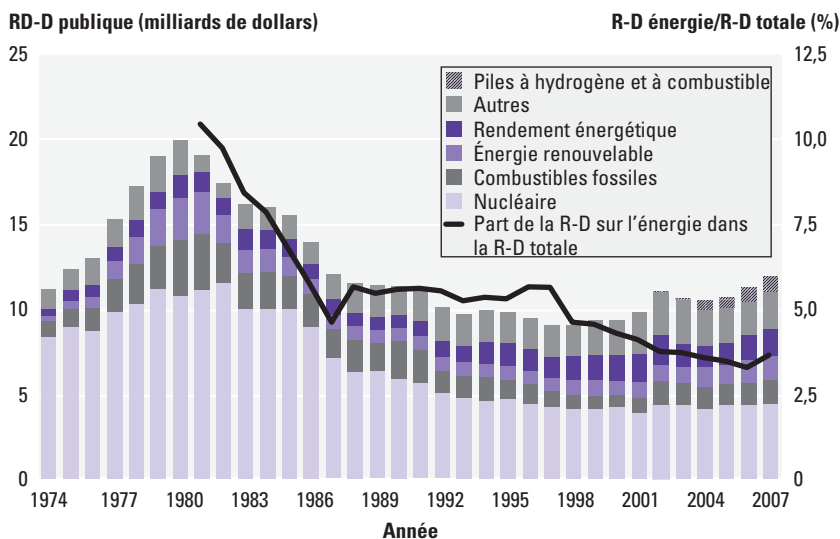
une occasion opportune d'effectuer de nouveaux investissements dans l'innovation intelligente sur le plan climatique (voir chapitre 1)¹⁵.

La crise mondiale actuelle offre également des possibilités de restructuration économique dans les pays à revenu élevé dont l'avenir est verrouillé dans des modes de fonctionnement à forte intensité de carbone. L'inertie technologique et le statisme institutionnel restent les plus grands obstacles à l'amorce par ces pays d'une trajectoire axée sur une économie à faible intensité de carbone¹⁶. Indissociables des systèmes techno-économiques existants, ils ne pourront être éliminés par des processus diplomatiques et nécessiteront la modification des structures économiques. Les politiques intelligentes sur le plan climatique devront inclure des mécanismes permettant d'identifier les perdants éventuels et de minimiser les bouleversements socio-économiques.

Bien que l'innovation intelligente sur le plan climatique soit essentiellement le fait des pays à revenu élevé, les pays en développement commencent à avoir une importante contribution dans ce domaine. En 2007, 23 % (26 milliards de dollars) des nouveaux investissements axés sur le rendement énergétique et les énergies renouvelables étaient imputables aux pays en développement, contre 13 % en 2004¹⁷. Quarante-deux pour cent de ces investissements ont été réalisés par trois pays : le Brésil, la Chine et l'Inde. Les voitures électriques les plus vendues dans le monde sont conçues et fabriquées par une société indienne, Reva Electric Car Company. Grâce à son action pionnière, la société a réussi à pénétrer le marché des constructeurs automobiles, y compris dans les pays à revenu élevé¹⁸.

Le Brésil, la Fédération de Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud n'étaient à l'origine que de 6,5 % des brevets mondiaux sur les énergies renouvelables en 2005¹⁹

Figure 7.2 Les budgets nationaux de RD-D dans le domaine l'énergie sont au plus bas et le nucléaire domine



Sources : AIE 2008a ; AIE, <http://www.iea.org/Textbase/stats/rd.asp> (consulté le 2 avril 2009) ; Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), <http://www.oecd.org/statsportal> (consulté le 2 avril 2009).

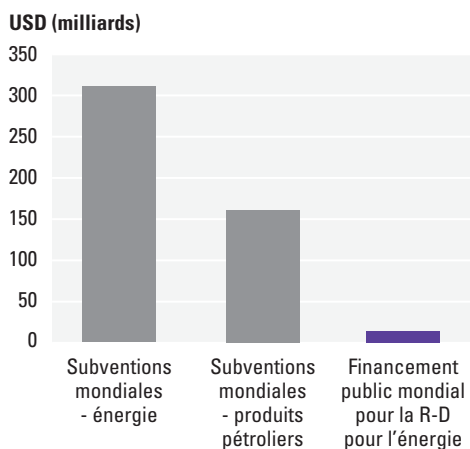
Remarque : RD-D calculée aux prix et taux de change de 2007. Les valeurs de l'axe de gauche représentent la RD-D (c'est-à-dire la recherche-développement et la démonstration) comme c'est généralement le cas pour le secteur énergétique. Toutefois, l'axe de droite ne représente que la R-D car seuls les totaux de R-D intersectorielle sont disponibles.

mais ils s'emploient à rapidement rattraper les pays à revenu élevé puisque leurs taux d'accroissement annuels des dépôts de brevets sont deux fois plus élevés que ceux de l'Union européenne (UE) ou des États-Unis. Ils sont par ailleurs en voie d'acquiescer un avantage technologique dans le domaine des énergies renouvelables car environ 0,7 % de leurs brevets déposés entre 2003 et 2005 concernaient ce secteur, contre moins de 0,3 % aux États-Unis. En 2005, la Chine était septième au classement des dépôts de brevets sur les énergies renouvelables et deuxième, derrière le Japon, dans les domaines de la géothermie et du ciment, deux importantes sources potentielles de réduction des émissions²⁰.

Tous les pays devront intensifier leurs efforts pour diffuser les technologies intelligentes sur le plan climatique et en créer de nouvelles

Le financement de la recherche, du développement et du déploiement dans le domaine énergétique, qu'il soit public ou privé, est loin d'atteindre les niveaux nécessaires pour assurer la transition vers un monde intelligent sur le plan climatique. Les budgets de RD-D se contractent en valeur absolue depuis le début des années 80 et ont diminué de près de moitié entre 1980 et 2007 (figure 7.2). La part des budgets publics de recherche-développement (hors démonstration) consacrée à l'énergie a également chuté, pour tomber de 11 % en 1985 à moins de 4 % en 2007 (cette évolution est décrite par la courbe verte de la figure 7.2), et a essentiellement visé l'énergie nucléaire. Le tableau brossé par les comparaisons des subventions publiques au titre des produits énergétiques

Figure 7.3 Les dépenses annuelles de R-D concernant l'énergie et le changement climatique sont dérisoires comparées aux subventions



Sources : AIE 2008a ; AIE 2008b ; AIE, <http://www.iea.org/Textbase/stats/rd.asp> (consulté le 2 avril 2009).

Remarque : Les estimations des subventions mondiales sont basées sur les subventions des 20 pays non membres de l'OCDE accordant les plus grosses subventions (les subventions des pays de l'OCDE sont minimes dans le domaine énergétique).

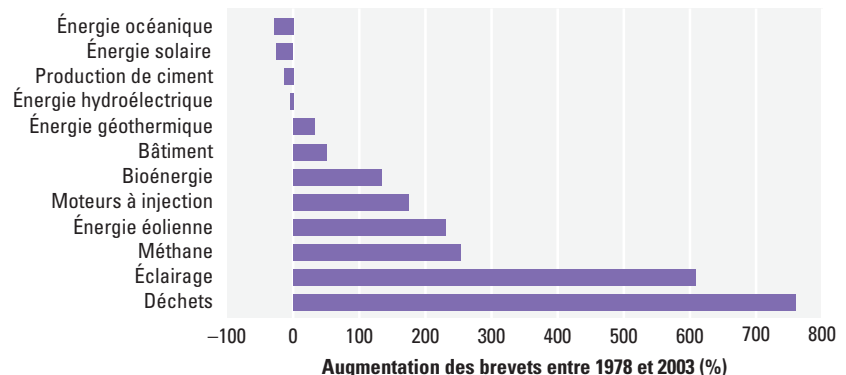
ou pétroliers est encore plus frappant (figure 7.3). Il est toutefois possible de répondre aux appels récemment lancés dans le but d'accroître la recherche-développement sur l'énergie pour en porter le montant de 100 à 700 milliards de dollars par an²¹. Le Japon a déjà pris l'initiative, en affectant 0,08 % de son produit intérieur brut (PIB) à la RD-D publique sur l'énergie, soit nettement plus que la moyenne de 0,03 % des pays à revenu élevé et à revenu intermédiaire (tranche supérieure) membres de l'Agence internationale de l'énergie²².

Par suite de leur récent essor, les dépenses privées en RD-D sur l'énergie, qui sont de l'ordre de 40 à 60 milliards de dollars par an, dépassent de loin les dépenses publiques. Leur montant ne représente toutefois que 0,5 % des revenus, c'est-à-dire un pourcentage nettement inférieur aux 8 % des recettes investies dans la RD-D dans le secteur électronique et aux 15 % investis dans le secteur pharmaceutique²³.

Les progrès sont simplement trop lents dans certains domaines technologiques. Bien que le nombre de brevets déposés concernant des énergies renouvelables ait rapidement augmenté depuis le milieu des années 90, il représentait moins de 0,4 % de tous les brevets en 2005 ; par ailleurs, seulement 700 demandes avaient été déposées²⁴. L'augmentation du nombre de dépôts de brevet au titre de technologies à faible intensité de carbone s'est essentiellement effectuée dans les domaines des déchets, de l'éclairage, du méthane et de l'énergie éolienne ; elle a été plus limitée dans de nombreux autres secteurs technologiques prometteurs tels que l'énergie solaire, océanique et géothermique (figure 7.4) et elle ne contribuera guère à faire chuter les coûts.

Les pays en développement sont toujours en retard sur les autres pays en ce qui concerne l'innovation pour l'adaptation. Bien qu'il soit plus efficace sur le plan des coûts d'adopter des technologies étrangères plutôt que de les réinventer, ces technologies ne sont pas toujours adaptées aux problèmes locaux²⁵. L'innovation ne présente donc pas uniquement un intérêt pour les économies à revenu élevé. Les progrès

Figure 7.4 Le rythme des inventions n'est pas le même pour toutes les technologies à faible intensité de carbone



Source : Dechezleprêtre et al. 2008.

Tableau 7.1 Accords internationaux à caractère technologique spécifiques au changement climatique

| Types d'accords | Sous-catégorie | Accords existants | Impact potentiel | Risque | Mise en œuvre | Objectif |
|--|---|--|------------------|--|--------------------|--|
| Harmonisation du cadre législatif et réglementaire | Déploiement et performances technologiques | Très peu nombreux (essentiellement dans l'UE) | Impact élevé | Mauvais choix technologiques par l'État | Difficile | Technologies énergétiques ayant d'importants effets de verrouillage (transport) et étant fortement décentralisées (rendement énergétique) |
| Partage des connaissances et coordination | Échange des connaissances et coordination de la recherche | Nombreux (notamment ceux de l'Agence internationale de l'énergie) | Impact faible | Pas de risque majeur | Facile | Tous les secteurs |
| | Normes et étiquetages non obligatoires | Plusieurs (EnergyStar, ISO 14001) | Impact faible | Adoption limitée des normes et étiquetages par le secteur privé | Facile | Produits industriels et de consommation ; systèmes de communication |
| Innovation fondée sur le partage des coûts | Instruments subventionnés de « stimulation par la technologie » | Très peu nombreux (ITER) | Impact élevé | Incertitude des résultats des recherches | Difficile | RD-D avant le stade de la concurrence avec d'importantes économies d'échelle (piégeage et stockage du carbone, énergie éolienne au large) |
| | Instruments d'« entraînement par le marché » axés sur des récompenses | Très peu nombreux (Ansari X-prize) | Impact moyen | Rémunération et efforts nécessaires risquant de produire des niveaux inappropriés d'innovation | Difficulté moyenne | Problèmes spécifiques à moyenne échelle ; solutions pour les marchés des pays en développement ; solutions ne nécessitant pas de R-D fondamentale |
| | Instruments visant à combler les lacunes existantes | Très peu nombreux (Fonds d'investissement Qatar-R-U. sur les technologies propres) | Impact élevé | Financement inutilisé faute d'activités à poursuivre | Difficulté moyenne | Technologies en phase de démonstration et de déploiement |
| Transfert de technologie | Transfert de technologie | Plusieurs (Mécanisme pour un développement propre, Fonds pour l'environnement mondial) | Impact élevé | Faibles capacités d'absorption des pays bénéficiaires | Difficulté moyenne | Technologies établies (énergie éolienne, rendement énergétique), spécifiques au contexte régional (agriculture) et adoptées par le secteur public (alerte avancée, protection des côtes) |

Sources : Davis et Davis 2004 ; De Coninck *et al.* 2007 ; Justus et Philibert 2005 ; Newell et Wilson 2005 ; Philibert 2004 ; Banque mondiale 2008a

biotechnologiques, par exemple, offrent des opportunités d'adaptation aux événements climatiques (sécheresses, vagues de chaleur, espèces nuisibles et maladies) qui ont un impact sur l'agriculture et la foresterie. Les brevets issus des pays en développement ne représentent cependant toujours qu'une partie infime des brevets mondiaux en biotechnologie²⁶, de sorte qu'il sera difficile de monter des ripostes culturelles et sanitaires au changement climatique au niveau local. Qui plus est, la R-D agricole n'attire que peu de financements dans les pays en développement, même s'ils évoluent à la hausse depuis 1981. Les économies à revenu élevé continuent d'effectuer plus de 73 % des investissements mondiaux dans la R-D agricole. Dans les pays en développement, 93 % des investissements en R-D agricole sont imputables au secteur public, contre 47 % dans les pays à revenu élevé. Or, les organisations du secteur public sont généralement moins efficaces que le secteur privé lorsqu'il s'agit de commercialiser les résultats de leurs recherches²⁷.

La collaboration internationale et le partage des coûts peuvent mobiliser des efforts nationaux pour promouvoir l'innovation

Les mesures de coopération qui peuvent être prises pour promouvoir des avancées technologiques concernent notamment l'harmonisation des cadres juridiques et réglementaires, le partage des connaissances et leur coordination, le partage des coûts et les transferts de technologies (tableau 7.1). Certains efforts ont été entrepris mais d'autres opportunités existent, qui ne sont pas exploitées.

Il importe de poursuivre toutes ces approches coopératives parce que différentes combinaisons de technologies peuvent être nécessaires et parce que toutes les technologies n'ont pas atteint le même stade de leur développement ou n'ont pas été adoptées dans la même mesure partout dans le monde. Des technologies intelligentes sur le plan climatique ne peuvent, de surcroît, pas être le fruit d'efforts dispersés. L'innovation doit être considérée comme un système faisant

intervenir conjointement de multiples intervenants et technologies, « effets de sentier » et processus d'apprentissage, et non pas uniquement comme le produit de la R-D (encadré 7.2)²⁸. Il faut que les subventions de recherche, développement, démonstration et déploiement soient associées à des incitations commerciales pour encourager les entreprises à innover et à faire progresser les technologies le long de la chaîne d'innovation (figure 7.5)²⁹. Enfin, l'innovation doit s'appuyer sur les flux intersectoriels de connaissances et les progrès réalisés dans les grandes technologies, notamment les technologies d'information et de communication et la biotechnologie.

L'harmonisation des réglementations est absolument essentielle à tout accord sur les technologies intelligentes sur le plan climatique

L'harmonisation d'incitations ayant une vaste portée géographique peut attirer de nombreux investisseurs dans l'innovation intelligente sur le plan climatique et créer de vastes marchés en ce domaine. La tarification du carbone, les normes réglementant la part d'énergie devant provenir de sources renouvelables et les critères de performance établis,

par exemple, pour la consommation de carburant des automobiles (voir chapitre 4), ont un bon rapport coût-efficacité et peuvent promouvoir le développement et la diffusion de technologies à faible intensité de carbone. C'est pourquoi plusieurs pays ont adopté des mesures pour éliminer progressivement l'utilisation d'ampoules incandescentes à la suite de l'apparition de technologies plus efficaces, comme les ampoules fluorescentes compactes et les diodes électroluminescentes. Appliquées de manière uniforme à l'échelle mondiale, des réglementations de ce type pourraient orienter le marché vers des produits à faible intensité de carbone, tout comme l'harmonisation des normes de télécommunications GSM a créé une masse critique pour le marché des téléphones portables en Europe dans les années 90.

Des accords de partage des connaissances et de coordination complètent utilement ces efforts

La conclusion d'accords sur le partage des connaissances peut contribuer à remédier aux défaillances du marché et du système dans les domaines de l'innovation et de la diffusion, en permettant de coordonner les programmes nationaux de recherche, les systèmes d'échange d'informations,

ENCADRÉ 7.2 *L'innovation est un processus désordonné et ne peut être encouragée que grâce à des politiques visant de multiples éléments d'un système complexe*

Dans la majorité des pays, les politiques gouvernementales continuent d'être formulées sur la base d'une conception linéaire et dépassée de l'innovation, qui passe nécessairement par quatre étapes successives :

- La R-D, pour trouver des solutions à des problèmes techniques spécifiques et les appliquer à de nouvelles technologies.
- Les projets de démonstration, pour adapter la technologie et démontrer son fonctionnement dans des applications concrètes et à grande échelle.
- Le déploiement, lorsque les obstacles techniques fondamentaux ont été résolus et le potentiel commercial d'une technologie devient apparent.

La diffusion, lorsque la technologie devient compétitive sur le marché.

Or, l'expérience montre que l'innovation est un processus beaucoup plus complexe. La majorité des innovations échoue à une étape ou une autre. Les retours

d'expérience des fabricants au cours de l'étape de déploiement, ou des détaillants et consommateurs au cours de l'étape de diffusion, viennent progressivement éclairer les étapes précédentes ; ils peuvent ainsi modifier complètement le cours de l'innovation et déboucher sur de nouveaux concepts et produits inattendus et, parfois, engendrer des coûts imprévus. Il arrive que de grandes innovations ne soient pas le produit de la R-D mais de nouveaux modèles d'activité regroupant des technologies existantes. Par ailleurs, les courbes d'apprentissage, suivant lesquelles les coûts unitaires baissent en fonction de la production cumulée ou de la RDD-D cumulée, ne sont pas bien comprises.

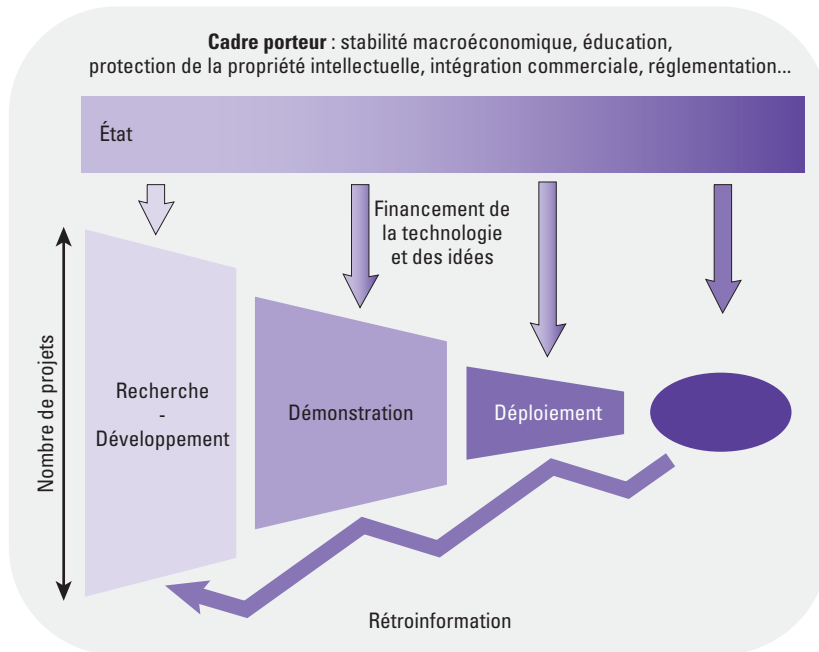
Quelle est l'importance de tout cela sur le plan stratégique ? La conception linéaire donne à tort l'impression qu'il est possible de gérer l'innovation simplement en accroissant les intrants nécessaires à la recherche (stimulation par la technologie) et en créant une demande au niveau des marchés (entraînement par le

marché). Bien que ces deux catégories de politiques soient extrêmement importantes, elles font abstraction des effets des nombreuses interactions entre les intervenants aux différentes étapes de l'innovation : entreprises, consommateurs, pouvoirs publics, universités, etc. Les partenariats et l'apprentissage nécessité par la vente, l'achat, ou encore l'imitation d'une technologie jouent des rôles particulièrement importants, tout comme les forces qui régissent sa diffusion. La compatibilité et les avantages apparents de nouveaux produits, de même que les coûts d'apprentissage connexes, sont tous des facteurs essentiels en matière d'innovation. Pour être efficaces, les politiques doivent donc envisager l'innovation de manière systémique et trouver les moyens de stimuler toutes les facettes du processus d'innovation, en particulier lorsque le marché ne joue pas le rôle qu'il devrait.

Sources : Tidd 2006 ; Banque mondiale 2008a.

Figure 7.5 Les stratégies publiques touchent tous les maillons de la chaîne d'innovation

Source : Basé sur AIE 2008a.



les normes non obligatoires et les politiques d'étiquetage. Les accords de coordination des programmes de recherche comprennent une grande partie des 42 accords technologiques de l'Agence internationale de l'énergie, dans le cadre desquels les pays financent et mettent en œuvre leurs propres contributions à différents projets sectoriels, allant des piles à combustible avancées aux véhicules électriques³⁰. Des accords de ce type permettent d'éviter que des investissements dans des pays différents ne fassent double emploi. Ils permettent aux pays de convenir ensemble de la répartition des tâches, en veillant à ce qu'aucune technologie

importante ne soit laissée pour compte, notamment celles qui présentent de l'intérêt pour les pays en développement (telles que les biocombustibles issus des produits d'alimentation et la production d'électricité par des installations de faible capacité dans le cas des pays en développement). Les réseaux d'échange d'informations comprennent le Système des systèmes mondiaux d'observation de la Terre, qui donne accès à des données issues de divers réseaux d'observation et de systèmes de mesure (encadré 7.3). L'étiquetage *Energy Star* est un excellent exemple de coordination internationale permettant à des organismes publics de différents pays

ENCADRÉ 7.3 Pour une surveillance novatrice : création d'un service climatique mondial et d'un « système de systèmes »

La demande de données et d'informations régulières et fiables sur les tendances, les événements exceptionnels et les prévisions à long terme n'a jamais été aussi forte qu'elle ne l'est aujourd'hui. Nombre d'organismes publics et privés opérant dans des secteurs aussi divers que les transports, les assurances, l'énergie, l'eau, l'agriculture et les pêches, incorporent de plus en plus les informations climatiques dans leur planification. Ces prévisions sont à présent un élément essentiel de leurs stratégies d'adaptation.

Une société de services climatiques mondiaux pourrait fournir les informations climatiques nécessaires aux populations de la planète pour mieux prévoir et anticiper les conditions climatiques à des horizons allant de quelques mois à plusieurs décennies. Une telle société pourrait s'appuyer sur les systèmes d'observation existants mais devrait étendre la portée de son action bien au-delà de ces systèmes. Elle aurait pour mission de fournir des informations permettant de répondre

aux questions relatives aux choix d'infrastructures urbaines pouvant résister aux précipitations extrêmes et ondes de tempête centenaires qui, désormais, se produiront avec une intensité et une fréquence croissante, d'aider les agriculteurs à choisir les meilleures cultures et méthodes de gestion de l'eau en période de sécheresse, de suivre l'évolution des stocks et des flux de carbone dans les forêts et les sols, et d'évaluer l'efficacité des stratégies

ENCADRÉ 7.3 Pour une surveillance novatrice : création d'un service climatique mondial et d'un « système de systèmes » (suite)

d'intervention en cas de catastrophe dans des conditions climatiques en évolution. Une société de services climatiques mondiaux devra pouvoir s'appuyer sur des partenariats novateurs entre les autorités nationales, le secteur privé et les autres institutions, et sa structure sera d'une importance capitale. Il faudra, au moyen des observations et des capacités de modélisation actuellement disponibles, élaborer un système constitué de multiples réseaux en étoile interconnectés qui mettront les services mondiaux à la portée de prestataires de services régionaux, eux-mêmes chargés de transmettre les informations aux prestataires locaux. Cela évitera que chaque communauté ne doive générer elle-même des informations très complexes.

Mise en place des éléments composant une société de services climatiques mondiaux

Une partie des informations dont aurait besoin une société de services climatiques mondiaux sont produites par les centres de services météorologiques et hydrologiques des États-Unis (United States National Meteorological and Hydrologic Service Centers) et, de plus en plus, par le Système mondial d'observation du climat, par le biais de divers organes publics et institutions non gouvernementales. Plusieurs autres institutions, telles que les Centres mondiaux de données et l'Institut international de recherche, fournissent régulièrement des données et des produits climatiques, notamment des prévisions pour des périodes allant d'un mois à un an. Quelques services climatiques régionaux commencent également à s'établir. C'est le cas, par exemple, de Pacific Climate Information System (PaCIS), cadre régional qui doit permettre d'intégrer les observations climatiques actuelles et futures, les services de prévisions opérationnels et les prévisions climatiques. PaCIS facilite la mise en commun de ressources et de savoir-faire ainsi que l'identification des priorités nationales. Dans ce contexte, la plus haute priorité doit être donnée à la création d'un portail web facilitant l'accès aux données, produits et services climatiques de l'Administration nationale de l'océan et de l'atmosphère des États-Unis (U.S. National

Oceanic and Atmospheric Administration) et de ses partenaires dans toute la région du Pacifique.

C'est également le cas des centres climatiques régionaux que l'Organisation météorologique mondiale (OMM) essaye officiellement d'établir et de mettre en place depuis 1999. L'OMM reconnaît le bien-fondé de l'argument selon lequel les responsabilités des centres régionaux ne doivent pas recouper ou remplacer celles des organismes existants mais doivent, plutôt, consister à fournir un appui dans cinq domaines clés : les activités opérationnelles, notamment pour l'interprétation des données des centres mondiaux de prévisions ; les efforts de coordination qui renforcent la collaboration au niveau des réseaux d'observation, de communication et de traitement informatique ; les services de production et d'archivage des données et de contrôle de leur qualité ; la formation et le renforcement des capacités ; et la recherche sur la variabilité et la prévisibilité du climat et leurs impacts dans une région.

Intégration des services climatiques à d'autres systèmes de surveillance novateurs

La mise en place d'un vaste système intégré conçu pour suivre l'évolution des conditions environnementales à l'échelle de la planète n'est pas à la portée d'un seul pays, pas plus que l'analyse des innombrables données qu'il produirait. C'est pourquoi le Groupe sur l'observation de la Terre (GEO), partenariat volontaire de gouvernements et d'organisations internationales, a élaboré le concept de Système des systèmes mondiaux d'observation de la Terre (GEOSS). En fournissant les mécanismes institutionnels nécessaires à la coordination, au renforcement et à la complémentation des systèmes mondiaux d'observation de la Terre existants, le GEOSS appuie les responsables de l'action publique, les responsables de la gestion des ressources, les chercheurs scientifiques et un large éventail de décideurs dans neuf domaines : l'atténuation des risques de catastrophes ; l'adaptation au changement climatique ; la gestion intégrée des ressources en eau ; la gestion

des ressources marines ; la préservation de la biodiversité ; l'agriculture et la foresterie durables ; la santé publique ; la distribution de ressources énergétiques ; et la surveillance météorologique. Les informations rassemblées proviennent de bouées océaniques, de stations hydrologiques et météorologiques, de satellites de télédétection et de portails Internet de surveillance de la Terre.

Des progrès ont déjà été enregistrés :

- En 2007, la Chine et le Brésil ont lancé ensemble un satellite d'imagerie terrestre et se sont engagés à transmettre leurs données d'observation à l'Afrique.
- Les États-Unis ont récemment ouvert l'accès à 40 ans de données provenant de la plus grande archive du monde d'images de télédétection.
- SERVIR, réseau régional de visualisation et de surveillance de la Méso-Amérique, est aujourd'hui la plus grande banque de données environnementales, d'images satellitaires, de documents, de métadonnées, et d'applications de cartographie en ligne accessibles à tous. Le nœud régional africain de ce réseau, situé à Nairobi, établit des prévisions concernant les inondations dans des zones à haut risque et les flambées épidémiques de fièvre dans la vallée du Rift.
- GEO commence à mesurer les stocks et les émissions de carbone liés aux forêts à l'aide de modèles intégrés, d'activités de surveillance in situ et de mesures de télédétection.

Sources : Système des systèmes mondiaux d'observation de la Terre, <http://www.epa.gov/geoss> (consulté en janvier 2009) ; Groupe sur l'observation de la Terre, <http://www.earthobservations.org> (consulté en janvier 2009) ; IRI 2006 ; note de Tom Karl, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Center, 2009 ; Pacific Region Integrated Climatology Information Products, <http://www.pricip.org/> (consulté le 29 mai 2009) ; Rogers 2009 ; Westermeyer 2009.

d'harmoniser leurs programmes non obligatoires d'étiquetage du rendement énergétique sur la base d'un ensemble unique de critères³¹.

Les comités d'évaluation technologique et économique du Protocole de Montréal offrent un modèle d'accord technologique sur le changement climatique, qui porte sur les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone. Ces comités ont réunis des représentants de gouvernements, d'entreprises, d'organisations non gouvernementales et des universitaires pour former des groupes de travail chargés de déterminer la faisabilité technique de technologies et d'établir des calendriers bien définis en vue de l'élimination de la production et de l'utilisation de chlorofluorocarbones et d'autres substances chimiques appauvrissant la couche d'ozone. Ils ont montré que les résultats des accords de coordination de technologies sont meilleurs lorsque ces accords sont assortis d'engagements en matière d'émissions car les industries sont alors incitées à y participer³². L'un des problèmes que pose l'utilisation de ce modèle dans le contexte du changement climatique est le grand nombre de comités qui serait nécessaire pour couvrir le large éventail des technologies concernées. Il serait à cet égard plus réaliste de limiter dans un premier temps cette approche à quelques secteurs stratégiques.

La « Nouvelle approche » de l'Union européenne en matière de normalisation offre également un modèle d'harmonisation des normes intelligentes sur le plan climatique. Les produits faisant l'objet d'échanges entre pays membres de l'UE doivent respecter des règles de base en matière de sécurité, de santé publique, de protection du consommateur et de protection de l'environnement. L'UE a dans un premier temps exigé de ses États membres qu'ils harmonisent leurs textes de lois contenant des prescriptions techniques détaillées. Cette approche a cependant engendré des désaccords persistants au sein du Conseil européen et il s'est avéré difficile de mettre à jour les textes de loi pour tenir compte des progrès technologiques. Une « Nouvelle approche » a donc été formulée en 1985 pour surmonter ce problème. Les produits classés dans le cadre de cette approche doivent simplement respecter des « exigences essentielles », très générales et technologiquement neutres, énoncées dans les textes de loi qui doivent être adoptés par chaque État membre de l'UE. Pour satisfaire aux exigences de la Nouvelle approche, les produits doivent respecter des normes européennes harmonisées établies par l'un des trois organismes régionaux volontaires de normalisation. Ces organismes sont composés de comités techniques représentant l'industrie, les gouvernements, les milieux universitaires et les consommateurs de différents pays de l'UE qui édictent des normes par consensus. Ces comités techniques sont ouverts à toutes les parties prenantes des États membres de l'UE désirant y siéger. Une approche semblable pourrait permettre d'harmoniser des réglementations générales intelligentes sur le

plan climatique par le biais d'un traité sur le climat assorti de normes d'application volontaire élaborées séparément par voie de consensus dans le cadre d'un processus ouvert³³.

Les normes d'application volontaire, l'étiquetage et la coordination de la recherche sont des instruments de coopération technologique à moindre coût mais il est difficile de déterminer s'ils génèrent de nouveaux investissements technologiques³⁴. Il est peu probable que ce type de coopération puisse à lui seul permettre de répondre aux énormes besoins d'investissement, de faire face à l'urgence de la situation et à la nécessité d'apprendre par la pratique qui caractérisent les technologies nécessaires, par exemple, au piégeage et au stockage du carbone.

Ce sont les accords de partage des coûts qui pourraient se révéler le plus rentable, à condition qu'il soit possible de surmonter les obstacles à leur mise en œuvre

Les accords de partage des coûts peuvent être des accords de « stimulation par la technologie », aux termes desquels de nombreux pays subventionnent le développement conjoint de technologies prometteuses (flèche rose pâle en haut à gauche de la figure 7.5) avant de savoir si elles tiendront leurs promesses. Ils peuvent également revêtir la forme d'accords d'« entraînement par le marché », aux termes desquels les financements réunis auprès de nombreux pays sont utilisés pour des technologies qui ont prouvé leur potentiel commercial – par des signaux du marché suivant des chaînes de rétroinformation. Ils peuvent aussi remplacer le maillon manquant de la chaîne d'innovation entre la recherche et le marché.

Accords de recherche. Les programmes internationaux de partage des coûts qui stimulent l'innovation dans le domaine du changement climatique sont très peu nombreux. L'un d'eux est le réacteur à fusion ITER qui dispose d'un budget de 12 milliards de dollars (encadré 7.4) ; d'autres accords de technologie, coordonnés par l'Agence internationale de l'énergie, qui bénéficient de budgets de plusieurs millions de dollars, rentrent aussi dans cette catégorie. L'Institut interaméricain de recherches sur les changements à l'échelle du globe est un autre modèle de partenariat d'instituts de recherche. Cette organisation intergouvernementale, qui regroupe 19 pays des Amériques, a vocation à promouvoir l'échange d'informations entre scientifiques mais aussi entre ces derniers et les responsables de l'action publique. Ce centre a pour mission d'encourager une approche régionale plutôt que nationale.

Les accords de partage des coûts de recherche pourraient connaître un essor considérable dans le cadre de projets de recherche fondamentale et de démonstration, qui se caractérisent par des niveaux de dépense et un degré d'incertitude élevés. Les groupes de recherche se prêtent également bien à la poursuite de travaux de recherche à long terme

ENCADRÉ 7.4 ITER : Un exemple de lancement laborieux d'un système de partage des coûts de R-D dans le domaine énergétique

ITER est un projet international de recherche-développement conçu pour démontrer la faisabilité scientifique et technique du recours à la fusion nucléaire pour produire de l'électricité sans générer les déchets radioactifs associés à la fission nucléaire. Les partenaires pour ce projet sont la Chine, les États-Unis, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon, la République de Corée et l'Union européenne. ITER a été proposé en 1986 et ses installations ont été mises au point en 1990. Le programme initial prévoyait la

construction d'un réacteur expérimental à partir de 1997, mais celle-ci a été repoussée par les négociations sur le protocole expérimental, le partage des coûts, le site de conception, le site de construction et la dotation en personnel. Plusieurs pays ont abandonné le projet ; certains ont décidé par la suite de s'y associer à nouveau tandis que d'autres ont retiré temporairement leur financement. ITER illustre les difficultés inhérentes à la négociation d'un projet de recherche de plus de 12 milliards de dollars aux résultats

incertains. Le financement de la phase de construction a finalement été approuvé en 2006. ITER devrait être opérationnel pendant 20 ans une fois sa construction achevée, vers 2017.

Source : <http://www.iter.org> (consulté le 12 décembre 2008).

Remarque : ITER est l'abréviation d'« International Thermonuclear Experimental Reactor » (réacteur thermonucléaire expérimental international).

dans des domaines qui se prêtent à des économies d'échelle et des économies d'apprentissage, comme le piégeage et le stockage du carbone (encadré 7.5), les unités photovoltaïques de troisième génération, l'énergie éolienne au large, les biocombustibles de deuxième génération et les technologies de surveillance du climat. Les possibilités de coopération sont plus limitées pour les technologies plus proches du stade de la commercialisation, lorsque les droits de propriété intellectuelle entrent en ligne de compte et que certains pays désirent se positionner en tant que pionniers.

Les accords de partage des coûts peuvent couvrir quelques domaines hautement prioritaires et être négociés par des institutions internationales centralisées dotées de structures de négociation. Le projet ITER montre que les accords de partage des coûts de très grande envergure sont difficiles à mettre en œuvre lorsque les pays peuvent revenir sur leurs engagements ou être en désaccord sur les modes de mise en œuvre. Pour assurer la pérennité des financements de ces accords, il sera nécessaire de fournir des incitations supplémentaires ; celles-ci pourront revêtir la forme de sanctions imposées aux pays qui se retirent ou l'obligation pour chaque partie à l'accord de s'engager à accroître le montant de ses financements (jusqu'à une valeur maximale) lorsque de nouvelles parties signent l'accord, afin de décourager les comportements opportunistes et de faire des accords de partage des coûts un élément incontournable de tout traité sur le climat³⁵. La majeure partie des efforts technologiques peut être prise en charge par les pays à revenu élevé. Mais pour être efficaces, les accords de recherche collaborative devront subventionner la participation des pays en développement, en particulier les pays à revenu intermédiaire affichant une forte croissance et devant rapidement se doter des capacités technologiques qui seront essentielles à un développement intelligent sur le plan climatique. Le secteur privé doit également être inclus dans les partenariats de recherche

afin que les technologies puissent ultérieurement être diffusées sur le marché.

Accords d'entraînement par le marché axés sur les récompenses. De nombreuses innovations majeures sont le fruit d'efforts menés hors des sentiers battus qui n'apparaissent généralement pas sur les écrans radar des programmes de subvention. En 1993, un ingénieur japonais, Shuji Nakamura, travaillant avec un budget limité dans une petite entreprise de province, a stupéfié la communauté scientifique en produisant les premières diodes électroluminescentes bleues. Cette invention est à l'origine des diodes électroluminescentes blanches à haut rendement que l'on produit aujourd'hui³⁶. De nombreux innovateurs mondiaux, dont le géant de l'informatique Dell, investissent une part beaucoup plus faible du produit de leurs ventes dans la R-D que leurs concurrents³⁷, mais ils sont extraordinairement adeptes à rechercher partout dans le monde les technologies et les idées ayant un fort potentiel, à collaborer à des projets de R-D et à commercialiser de nouvelles technologies³⁸. Il est probable que certaines des technologies intelligentes sur le plan climatique les plus prometteuses viendront de secteurs que l'on n'associe généralement pas au changement climatique. Des polymères hydrophiles pourraient par exemple fortement contribuer à la remise en végétation des terres arides et d'autres écosystèmes dégradés en retenant l'eau dans le sol. Or, cette technologie intéresse au prime abord les fabricants de couches pour bébés. De même, les fabricants de matières hydrophobes pourraient produire des vêtements qui peuvent être lavés moins souvent et contribuer ainsi à une réduction de la consommation d'eau et d'énergie.

Les instruments financiers récompensant la prise de risque, plutôt que le choix des gagnants d'entrée de jeu, offrent des opportunités inexploitées considérables. Il peut arriver que des problèmes technologiques soient résolus grâce à de rapides

ENCADRÉ 7.5 Les technologies permettant de piéger et de stocker le carbone à l'échelle requise nécessitent des efforts d'envergure internationale

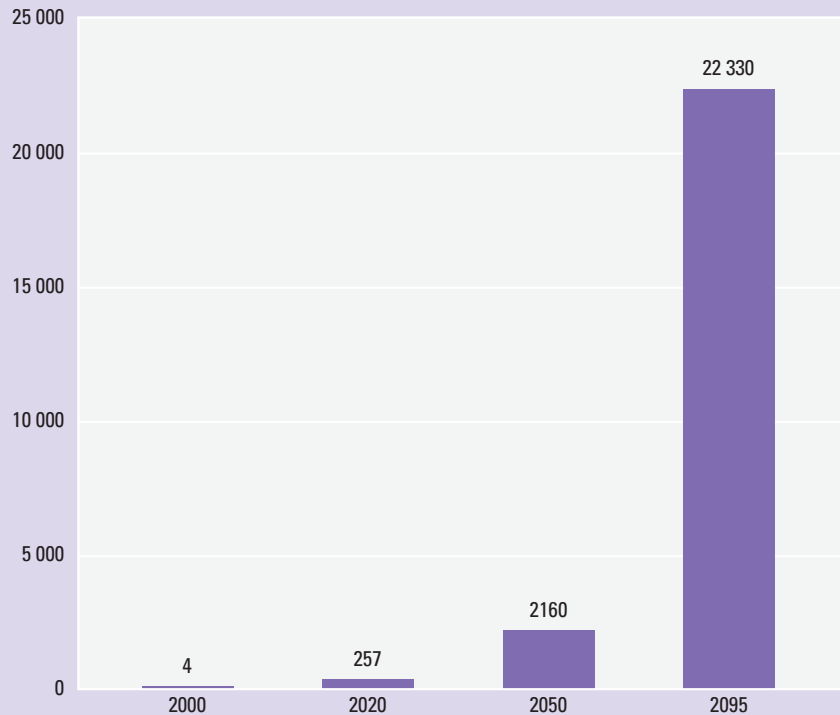
Pour que le piégeage et le stockage du carbone permettent de réduire d'un cinquième les émissions et, donc, de limiter les concentrations atmosphériques à, par exemple, 550 parties par million, il faudra que la technologie permette de porter les quantités de carbone piégées de 3,7 millions de tonnes de carbone aujourd'hui à plus de 255 millions de tonnes d'ici 2020 et à au moins 22 milliards de tonnes d'ici la fin du siècle, soit environ le même volume que les émissions mondiales actuelles issues de la consommation énergétique (figure). La construction d'une installation de piégeage et de stockage coûte entre 1,5 et 2,5 milliards de dollars, de sorte que le déploiement des 20 à 30 installations nécessaires d'ici 2020 pour prouver la viabilité commerciale de cette technologie serait prohibitif pour un seul pays. Il n'existe actuellement que quatre projets commerciaux de piégeage et de stockage du carbone et leur capacité de stockage est inférieure de un à deux ordres de grandeur à la capacité requise pour une centrale de 1 000 mégawatts pendant sa durée de vie escomptée.

Sources : Edmonds *et al.* 2007 ; AIE 2006 ; AIE 2008b.

a. Pour convertir des tonnes de carbone en CO₂, multiplier par 3,67.

La technologie de piégeage et de stockage du carbone nécessite des efforts supplémentaires considérables

CO₂ éliminé/an (millions de tonnes)



Remarque : Données observées pour 2000. Pour toutes les autres années, les prévisions sont fondées sur les efforts nécessaires pour limiter les concentrations de gaz à effet de serre à 550 ppm.

progrès dans des domaines inattendus ou à de nouveaux modèles d'activité que les programmes traditionnels de subvention de la R-D peuvent facilement négliger. De nouveaux instruments financiers internationaux offrent aux marchés la souplesse nécessaire pour trouver des solutions novatrices.

Les prix d'encouragement et les mécanismes de garantie de marché constituent deux types d'incitation étroitement liés qui rentrent dans la catégorie des mécanismes d'entraînement par le marché, dont le but est de récompenser, par voie de concours, les innovations qui atteignent des objectifs technologiques prédéfinis. Les prix d'encouragement procurent une récompense déterminée tandis que les mécanismes de garantie de marché donnent lieu à des engagements financiers qui permettront de subventionner les futurs achats d'un produit ou service à hauteur de prix et de volumes prédéterminés.

Il n'existe actuellement aucun exemple de prix internationaux récompensant des innovations intelligentes sur le plan

climatique, mais de récentes initiatives nationales publiques et privées suscitent un intérêt croissant. Le « Ansari X-Prize », d'une valeur de dix millions de dollars, a été créé au milieu des années 90 pour encourager les vols spatiaux hors de tout programme gouvernemental. Ce concours a attiré des investissements dans des travaux de recherche du secteur privé totalisant 100 millions de dollars, soit dix fois le montant du prix, et mobilisé 26 équipes avant que le gagnant ne soit annoncé en 2004³⁹. En mars 2008, la Fondation X-Prize et un partenaire commercial ont annoncé un nouveau concours international de dix millions de dollars portant sur la conception, la construction et la commercialisation de véhicules à haut rendement énergétique. Au total, 111 équipes issues de 14 pays se sont inscrites⁴⁰.

Les mécanismes de garantie de marché, qui encouragent l'innovation en garantissant un minimum de débouchés pour réduire les incertitudes, appuient le développement de technologies intelligentes sur le plan climatique par le

ENCADRÉ 7.6 *Le réfrigérateur à haut rendement : un programme novateur de garantie de marché ?*

En 1991, un groupe de services d'utilité collective a accepté de fournir plus de 30 millions de dollars pour récompenser, dans le cadre du Programme pour des réfrigérateurs à haut rendement, un fabricant capable de produire et de commercialiser un réfrigérateur sans chlorofluorocarbone (substance qui appauvrit la couche d'ozone) consommant 25 % d'énergie de moins que les

prescriptions réglementaires en vigueur. Le gagnant devait recevoir une prime fixe pour chaque unité vendue, jusqu'au maximum défini par le montant du fonds. La société Whirlpool a dépassé les prescriptions de performance et remporté le prix tout en bénéficiant d'une publicité au niveau national. Elle n'a toutefois pas pu obtenir l'intégralité du prix en raison du faible succès commercial du réfrigérateur.

Il est toutefois probable que ce concours a eu des retombées positives et incité les concurrents de Whirlpool à concevoir leur propre gamme de réfrigérateurs performants.

Sources : Davis et Davis 2004 ; Newell et Wilson 2005.

biais de l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis (U.S. Environmental Protection Agency), en partenariat avec des groupes sans but lucratif et des services d'utilité collective (voir encadré 7.6). Plus récemment, un programme pilote international sur les vaccins antipneumococciques a été conçu par l'Alliance mondiale pour les vaccins et la vaccination (GAVI) et la Banque mondiale⁴¹. En 2007, les donateurs se sont engagés à fournir 1,5 milliard de dollars sous la forme de garanties de marché dans le cadre de ce projet pilote. Les vaccins sont achetés avec des fonds garantis par les donateurs et un faible financement des pays bénéficiaires s'ils répondent aux objectifs de performance spécifiés. Il est encore trop tôt pour juger du succès, toutefois probable, de ce projet⁴².

Les techniques d'entraînement par le marché peuvent compléter les actions de stimulation par la technologie sans toutefois les remplacer. Elles contribuent à multiplier les ressources financières publiques et à promouvoir la compétition aux fins de l'élaboration de prototypes de validation ou fonctionnels. Il est facile de participer à ces programmes ; en effet les financements ne sont pas attribués sur la base de portefeuilles de projets de recherche antérieurs, de sorte que de petites organisations ou des organisations de pays en développement ont la possibilité de concourir. Toutefois, ces incitations ne parviennent pas réduire les risques au point que des investisseurs privés soient prêts à financer des recherches à grande échelle ou très précoces.

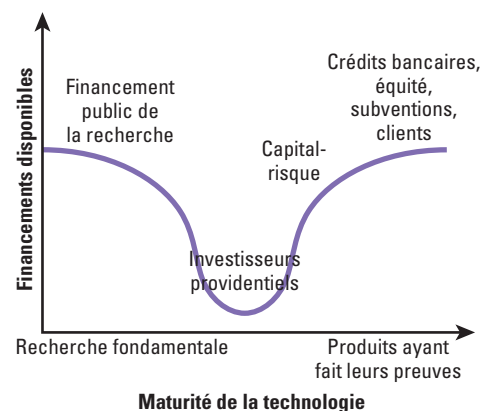
Les prix décernés dans le cadre de compétitions et les garanties de marché se prêtent bien à des financements multilatéraux. Les prix n'ayant pas vocation commerciale, ils peuvent être offerts pour résoudre des problèmes de recherche antérieurs à la phase de commercialisation des produits dans des technologies telles que les accumulateurs et les convertisseurs photovoltaïques. Les organismes publics et privés en quête de solutions technologiques pourraient organiser des concours offrant des récompenses en espèces sur un marché technologique mondial. Le Groupe de la Banque mondiale étudie actuellement la possibilité

d'organiser des concours encourageant les innovations aux stades initiaux de technologies propres appuyées par le nouveau Fonds pour la Terre lancé par le Fonds pour l'environnement mondial et la Société financière internationale

Les garanties de marché peuvent être un instrument utile lorsque les coûts d'apprentissage et de déploiement sont prohibitifs, lorsqu'aucun utilisateur n'est prêt à payer plus cher pour de nouvelles technologies ou lorsque le marché est trop limité ou risqué. C'est le cas, notamment, des technologies de production et de consommation d'énergie mais aussi des technologies d'adaptation (telles que traitements anti-paludiques et variétés culturales résistantes à la sécheresse), lorsque la demande est fragmentée (États individuels), les ressources sont limitées (en particulier dans les pays en développement) et la taille potentielle du marché est difficile à jauger (par suite des incertitudes qui caractérisent la scène politique à long terme)⁴³.

Accords permettant de faire la soudure avec la phase de commercialisation. La « vallée de la mort », où l'absence de financement pour commercialiser la recherche appliquée, est l'un des principaux obstacles à l'innovation (figure 7.6).

Figure 7.6 La « vallée de la mort » entre la recherche et le marché



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde

Les pouvoirs publics sont généralement prêts à financer la R-D dans des technologies n'ayant pas encore fait leurs preuves tandis que le secteur privé n'hésite pas à financer des technologies qui ont fait leurs preuves sur le marché – le rectangle de la R-D de la figure 7.3 – mais les financements sont très limités aux stades de la démonstration et du déploiement⁴⁴. Les autorités nationales sont rarement enclines à financer des projets à un stade précoce de peur de fausser le marché, tandis que les investisseurs privés les trouvent trop aléatoires, à l'exception d'un nombre restreint d'investisseurs indépendants appelés « investisseurs providentiels » par certaines sociétés. Les investisseurs en capital-risque, qui ne financent généralement que les sociétés dotées de technologies ayant fait leurs preuves, n'ont pas été en mesure d'affecter plus de 73 % du capital disponible dans le secteur des technologies propres en 2006 en raison du faible nombre de sociétés de ce secteur qui ont survécu à la « vallée de la mort »⁴⁵.

De nombreuses technologies intelligentes sur le plan climatique ne peuvent par ailleurs pas bénéficier de fonds de capital-risque. Il est peu probable que les investisseurs soient attirés par des segments de marché portant sur des technologies à forte intensité de capital pour lesquels les risques sont particulièrement élevés et les coûts de démonstration peuvent être prohibitifs. Il est aussi vraisemblable que la crise financière ralentira les flux de capital-risque en raison de la cherté des emprunts⁴⁶. L'essentiel de l'industrie mondiale du capital-risque se trouve de surcroît concentré dans quelques pays développés, loin des opportunités offertes par plusieurs pays à revenu intermédiaire en rapide expansion⁴⁷.

Les programmes de commercialisation de la technologie peuvent également appuyer l'établissement de liens avec des utilisateurs potentiels de technologies intelligentes sur le plan climatique, notamment en ciblant les petites entreprises où naissent de nombreuses innovations majeures mais qui sont confrontées aux plus grands obstacles en matière de financement et d'accès au marché. Pour commercialiser des idées répondant à ses besoins technologiques, l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis (U.S. Environmental Protection Agency) a mis en place un programme de financement des activités de recherche menées par les petites entreprises (Small Business Innovation Research Program)⁴⁸. Le programme Passerelle de l'État français accorde des cofinancements aux grandes sociétés acceptant d'investir dans des projets d'innovation pouvant présenter de l'intérêt, qui sont exécutés par de petites entreprises⁴⁹. D'autres programmes offrent des subventions spéciales à des projets menés en collaboration afin d'encourager les retombées technologiques.

Parce que le fossé entre la recherche et le marché est particulièrement grand dans les pays en développement et que de nombreuses solutions à des problèmes locaux peuvent provenir d'autres pays, il importe que des fonds multilaté-

raux spéciaux soutiennent des projets de recherche auxquels participent des pays en développement. Ces fonds peuvent encourager la poursuite de travaux de recherche dans des domaines présentant de l'intérêt pour les pays en développement, par exemple des cultures résistantes à la sécheresse. Les efforts multilatéraux peuvent également promouvoir des fonds de capital-risque intelligents sur le plan climatique dans les pays à revenu élevé et dans le petit groupe de pays à revenu intermédiaire en rapide expansion qui poursuivent des activités innovantes et ont des infrastructures financières suffisamment importantes pour attirer des investisseurs en capital-risque. Ce groupe comprend notamment la Chine et l'Inde. En Israël, en République de Corée et à Taïwan (Chine), l'État procure un capital-risque ; il assume ainsi le rôle d'investisseur principal et mobilise des financements d'autres sources⁵⁰. Des stratégies de ce type peuvent fournir les moyens de survie nécessaires pour permettre aux technologies naissantes de se développer au point de pouvoir prendre racine dans l'économie mondiale.

L'ampleur et la portée des efforts internationaux sont nettement insuffisantes

Les transferts de technologie couvrent les processus nécessaires à la transmission de l'information, du savoir-faire, de l'expérience et des matériels aux gouvernements, entreprises, associations sans but lucratif, instituts de recherche et établissements éducatifs. L'absorption de technologies étrangères nécessite bien plus que le simple financement du matériel et des licences technologiques. Elle nécessite le renforcement des capacités nationales requises pour identifier, comprendre, utiliser et reproduire des technologies utiles. Comme indiqué ci-dessous, les stratégies internationales peuvent appuyer les efforts nationaux pour améliorer les institutions nationales et créer un environnement favorable aux transferts de technologie.

Organisations internationales. De nombreuses organisations internationales qui ont pour mandat de s'attaquer aux grands problèmes d'environnement ont des missions spécifiques : il s'agit notamment de l'Organisation mondiale de la santé, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Celles-ci peuvent toutefois être encouragées à conjuguer leurs efforts pour améliorer l'efficacité et la cohérence des interventions des institutions en place pour relever le défi du changement climatique.

De nombreux accords internationaux ont, de même, été adoptés pour s'attaquer à des problèmes environnementaux particuliers mais leurs effets devraient mutuellement se renforcer lorsqu'ils seront mis en application⁵¹. Ils peuvent être évalués sur la base de leurs objectifs et des moyens de les atteindre par comparaison à leur capacité à appuyer l'atténuation et l'adaptation nécessaire pour un réchauffement de la planète de 2 °C ou de 5 °C ou plus.

Mécanismes de financement. Le Mécanisme pour un développement propre (MDP), qui est le principal circuit de financement des investissements dans des technologies à faible intensité de carbone dans les pays en développement, mobilise des capitaux publics et privés et a financé plus de 4 000 projets sobres en carbone. Toutefois la majorité des projets du MDP ne donne lieu à aucun transfert de connaissances ou de matériel en provenance de l'étranger⁵². (Le chapitre 6 examine les difficultés que peut poser un accroissement de l'envergure du MDP qui lui permettrait d'accélérer les transferts de technologie.)

Le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) est aujourd'hui la principale source de financement de projets favorisant la protection de l'environnement tout en appuyant les objectifs nationaux de développement durable. Le FEM est l'organe de financement de la CCNUCC et fournit son appui à l'évaluation des besoins technologiques dans plus de 130 pays. La majorité des financements du FEM au titre de l'atténuation entre 1998 et 2006, soit environ 250 millions de dollars par an, visait à supprimer les obstacles à la diffusion de technologies à rendement énergétique élevé⁵³. Les efforts d'adaptation du FEM sont axés sur le renforcement des capacités nécessaires pour identifier les besoins urgents et immédiats des pays les moins avancés. L'impact du FEM est toutefois limité par la faiblesse du budget proposé pour les projets d'adaptation, qui est de 500 millions de dollars pour la période 2010-2014⁵⁴.

Le nouveau Fonds carbone de partenariat apportera une aide complémentaire aux pays en développement en finançant d'importants investissements à haut risque dans les énergies et les infrastructures propres qui offrent de bonnes perspectives de réduction des émissions à long terme⁵⁵. Le Fonds pour les technologies propres est une initiative multi-donateurs de 5,2 milliards de dollars et a été mis en place en 2008 pour fournir un financement à faible taux d'intérêt pour la démonstration, le déploiement et le transfert de technologies à faible intensité de carbone. En 2009, le Mexique, la République arabe d'Égypte et la Turquie deviendront les

premiers pays à bénéficier d'un financement conjoint d'un milliard de dollars provenant de ce fonds.

Le Protocole de Montréal a montré qu'il est possible d'assurer la pérennité de financements multilatéraux en inscrivant dans les obligations imposées par un traité environnemental le financement des surcoûts engendrés par l'adoption de technologies modernes. Le Fonds multilatéral pour la mise en œuvre du Protocole de Montréal a incité les pays en développement à adhérer au Protocole en affectant des ressources au financement des surcoûts dus au respect des prescriptions technologiques⁵⁶. En contrepartie, les pays en développement ont accepté d'éliminer progressivement l'utilisation de substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Le Fonds a fourni des subventions ou des prêts pour couvrir les coûts liés à la conversion des installations, aux activités de formation, aux dépenses de personnel et à l'acquisition des licences nécessaires pour utiliser les technologies. Bien que le Protocole de Montréal soit considéré offrir un bon modèle de diffusion des technologies, les sources des émissions de gaz à effet de serre sont considérablement plus importantes que les chlorofluorocarbones et de nombreuses technologies de réduction des émissions ne sont pas disponibles sur le marché. Il faudra par conséquent mettre en place un fonds pour le changement climatique comparable au Fonds multilatéral, d'une ampleur appropriée⁵⁷.

Ressources financières et technologiques. Comme le souligne le chapitre 6, il sera nécessaire de dégager des financements beaucoup plus importants pour les pays en développement. Les estimations du complément d'investissement au titre de l'atténuation et de l'adaptation se situent entre 170 et 765 milliards de dollars par an à l'horizon 2030. Mais l'appui requis ne se limite pas aux seuls transferts financiers. Loin d'être facile, l'acquisition de technologies est un processus long, coûteux et risqué marqué par de nombreux échecs commerciaux. Les technologies d'adaptation dépendent des compétences techniques et des connaissances locales car elles impliquent la conception de systèmes répondant aux besoins locaux (encadré 7.7).

ENCADRÉ 7.7 Une innovation prometteuse pour l'adaptation côtière

La fréquence des ondes de tempête et des marées dévastatrices devrait augmenter sur le littoral bangladais du fait du changement climatique. Alabama University at Birmingham travaille avec des chercheurs bangladais sur des fondations et charpentes utilisant un matériau composite léger qui plie sans rompre, en cas d'ouragan, et flotte en cas d'onde de tempête. Des fibres de jute, plante commune au Bangladesh, sont tissées

avec du plastique recyclé pour former un matériau de construction extrêmement solide. Le jute peut être cultivé sans engrais, pesticides ou irrigation, est biodégradable, peu coûteux, et est déjà couramment utilisé au Bangladesh dans la production de textiles, de cordes et d'autres produits. Des architectes locaux collaborent au projet pour intégrer cette technologie dans la conception des logements. Les chercheurs bangladais

apporteront leur savoir-faire en matière de production à grande échelle de produits à base de jute.

Sources : Alabama University at Birmingham, <http://main.uab.edu/Sites/MediaRelations/articles/55613/> (consulté le 17 février 2009) ; entretien avec le professeur Nassim Uddin, Alabama University at Birmingham, le 4 mars 2009.

Tableau 7.2 Grandes priorités stratégiques nationales en matière d'innovation

| Pays | Principales stratégies |
|------------------------|--|
| À faible revenu | <p>Investir dans des compétences en ingénierie, conception et gestion</p> <p>Accroître le financement des instituts de recherche pour la recherche, le développement, la démonstration et la diffusion dans le domaine de l'adaptation</p> <p>Intensifier les liens entre les établissements d'enseignement et de recherche, le secteur privé et les organismes publics de planification</p> <p>Mettre en place des subventions pour l'adoption de technologies d'adaptation</p> <p>Améliorer le cadre des affaires</p> <p>Importer des connaissances et technologies étrangères dans la mesure du possible</p> |
| À revenu intermédiaire | <p>Mettre en place des normes intelligentes sur le plan climatique</p> <p>Créer des incitations à l'importation de technologies d'atténuation et, dans les pays en phase de rapide industrialisation, mettre en place les conditions nécessaires à un cadre favorable, à long terme, à la production locale</p> <p>Créer des incitations à l'investissement de capital-risque intelligent sur le plan climatique dans les pays en phase de rapide industrialisation ayant une densité critique d'innovation (tels que la Chine et l'Inde)</p> <p>Améliorer le cadre des affaires</p> <p>Renforcer le régime de droits de propriété intellectuelle</p> <p>Faciliter les investissements étrangers directs dans des technologies intelligentes sur le plan climatique</p> <p>Intensifier les liens entre les établissements d'enseignement et de recherche, le secteur privé et les organismes publics de planification</p> |
| À revenu élevé | <p>Mettre en place des normes de performance intelligentes sur le plan climatique et une tarification du carbone</p> <p>Augmenter l'innovation et la diffusion de technologies d'atténuation et d'adaptation grâce à des subventions, des prix, des incitations à l'investissement de capital-risque et l'adoption de mesures politiques pour encourager la collaboration entre sociétés et d'autres sources et utilisateurs d'innovations intelligentes sur le plan climatique</p> <p>Aider les pays en développement à améliorer leur capacité d'absorption et d'innovation technologiques</p> <p>Favoriser les transferts de savoir-faire et de technologie vers les pays en développement</p> <p>Favoriser la participation des pays à revenu intermédiaire aux projets à long terme de RDD-D dans le domaine de l'énergie</p> <p>Partager les données sur le changement climatique avec les pays en développement</p> |
| Tous les pays | <p>Supprimer les obstacles au commerce des technologies intelligentes sur le plan climatique</p> <p>Éliminer les subventions profitant aux technologies à forte intensité de carbone</p> <p>Redéfinir les institutions du savoir, notamment les universités, en tant que lieux de diffusion des pratiques à faible intensité de carbone</p> |

Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde

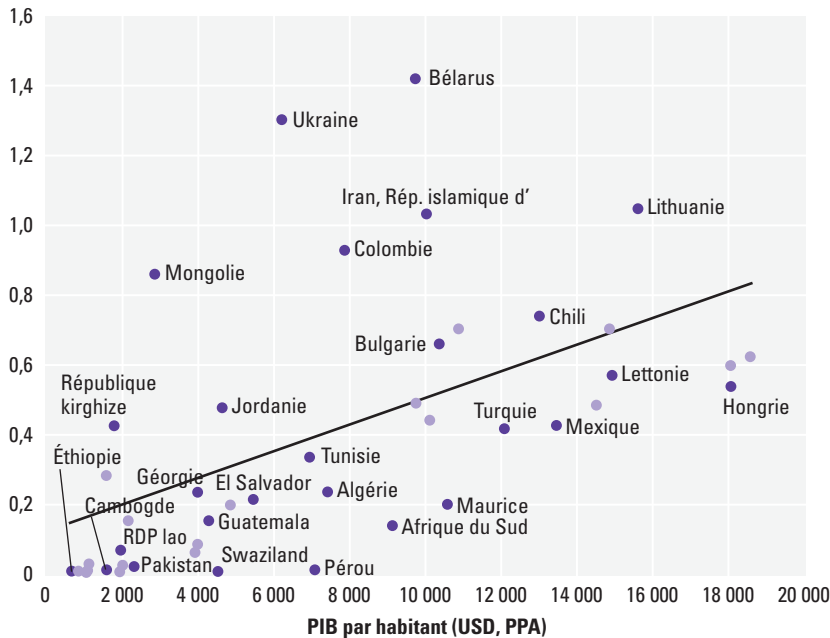
Même lorsqu'il est possible d'importer une technologie, il faut pouvoir procéder aux recherches nécessaires, posséder des connaissances techniques et avoir les compétences et les ressources requises pour pouvoir l'utiliser de manière efficace. Cette capacité dépend de diverses formes de connaissances, qui sont en grande partie tacites et ne peuvent pas être codifiées ou transférées. Dans le cas de projets énergétiques à grande échelle qui peuvent être sous-traités à des sociétés étrangères, par exemple, il est nécessaire que le pays hôte ait les capacités requises pour permettre aux responsables de l'action publique d'évaluer le mérite desdits projets mais aussi pour assurer l'exploitation et l'entretien des installations. L'Union européenne a entrepris de rédiger des textes législatifs qui doivent permettre de gérer les risques associés au piégeage et au stockage du carbone,⁵⁸ mais peu de pays ont les capacités techniques nécessaires pour élaborer

des lois de ce type, ce qui est un obstacle supplémentaire au déploiement de ces technologies.

Le financement multilatéral peut avoir un plus fort impact sur le transfert et l'absorption de technologies s'il couvre non plus seulement le transfert de technologies physiques et codifiées mais aussi l'amélioration des capacités d'absorption des individus et des organisations dans les pays en développement. L'absorption de technologie est une question d'apprentissage qui se fait par le biais de l'investissement dans des technologies étrangères, de la formation et de l'éducation, de l'interaction et de la collaboration à l'intérieur des frontières nationales et au-delà, et de la R-D. Les financements multilatéraux peuvent favoriser les transferts de technologies de trois manières : en subventionnant les investissements dans des technologies locales ou étrangères dans les pays en développement ; en subventionnant la parti-

Figure 7.7 Les inscriptions dans la filière ingénierie restent faibles dans de nombreux pays en développement

Inscriptions dans l'enseignement supérieur, filières ingénierie, techniques de fabrication et bâtiment par rapport à la population totale (%)



Source : Équipe du Rapport sur le développement dans le monde, d'après les données de l'Institut de statistiques de l'UNESCO, <http://stats.uis.unesco.org/unesco/ReportFolders/ReportFolders.aspx> (consulté le 30 août 2009).

cupation des pays en développement aux accords d'échange de connaissances, de coordination et de partage des coûts mentionnés plus haut ; et en appuyant les infrastructures nationales de diffusion des connaissances et le secteur privé, comme indiqué dans la section suivante.

Les institutions, politiques et programmes publics favorisent l'innovation et accélèrent sa diffusion

L'innovation est le résultat d'un système complexe, tributaire des capacités individuelles d'une multitude de parties : pouvoirs publics, universités et instituts de recherche, entreprises, consommateurs et organisations sans but lucratif. Le renforcement des capacités de cette large gamme d'intervenants et de leurs modes d'interaction est une tâche difficile mais nécessaire si l'on veut s'attaquer conjointement aux questions de développement et de changement climatique. Le tableau 7.2 répertorie les principales actions devant être menées en priorité pour encourager l'innovation dans des pays rentrant dans des catégories de revenu différentes.

Les compétences et les connaissances sont l'un des fondements d'une économie intelligente sur le plan climatique. Si l'éducation élémentaire est la base de tout processus d'absorption technologique et permet de réduire les inégalités économiques, il est également essentiel de disposer d'un nombre suffisant d'ingénieurs et de chercheurs qualifiés. Les ingénieurs, particulièrement peu nombreux dans les pays à

faible revenu, interviennent dans la mise en œuvre de technologies d'adaptation spécifiques au contexte local et jouent un rôle critique dans les phases de reconstruction suivant les catastrophes naturelles (figure 7.7). Le Bangladesh, particulièrement vulnérable aux ouragans et à l'élévation du niveau de la mer, est un exemple extrême : les étudiants inscrits dans des filières d'ingénieur représentaient à peine 0,04 % de la population en 2006, contre 0,43 % en République kirghize, qui a un PIB par habitant très semblable⁵⁹. Les compétences administratives et entrepreneuriales, nécessaires pour concrétiser les connaissances techniques en applications pratiques dans le secteur privé, sont tout aussi importantes. Quant aux compétences requises dans le secteur public, elles couvrent de nombreux domaines parmi lesquels la réglementation des services d'utilité collective, les communications, l'aménagement urbain et l'élaboration de politiques climatiques.

Il est possible de promouvoir l'acquisition de compétences et de connaissances en investissant dans les institutions et les programmes qui forment l'infrastructure du savoir d'un pays. Des institutions telles que les universités, les écoles, les instituts de formation, les centres de R-D et les laboratoires, et des services technologiques tels que la vulgarisation agricole et l'éclosion d'entreprises⁶⁰ peuvent soutenir les capacités du secteur privé et du secteur public à utiliser les technologies intelligentes sur le plan climatique et à prendre des décisions fondées sur des données scientifiques fiables.

ENCADRÉ 7.8 *Les universités doivent innover : le cas de l'Afrique*

La majeure partie de l'aide des bailleurs de fonds à l'Afrique ne répond pas à la nécessité de mettre l'ensemble des connaissances accumulées dans le monde entier au service du développement à long terme. En Afrique, les taux d'inscription dans l'enseignement supérieur sont proches, en moyenne, de 5 %, contre plus de 50 % dans les économies développées. Toutefois, s'il convient d'élargir l'accès aux universités africaines, il est tout aussi important de faire de ces dernières des moteurs du développement.

Il faudrait que les universités forgent des liens plus étroits avec le secteur privé, forment davantage de diplômés poursuivant des carrières spécialisées et diffusent le savoir dans leur pays. Les écoles d'agriculture installées sur un domaine cédé par l'État qui, aux États-Unis, coopèrent directement depuis le XIX^e siècle avec les communautés locales

à la diffusion des connaissances agricoles sont, à cet égard, un modèle intéressant. Il importera donc d'apporter des modifications de nature qualitative aux objectifs, aux fonctions et à la structure des universités, qui exigeront de profondes réformes des programmes de cours, de l'enseignement, des implantations, de la sélection des étudiants et de la gestion des établissements universitaires.

La formation devra devenir plus interdisciplinaire pour aborder les problèmes complexes qui ne s'arrêtent pas aux frontières traditionnelles entre les différentes disciplines. Stellenbosch University, en Afrique du Sud, offre un excellent exemple d'adaptation des programmes aux besoins des organisations de R-D. Elle a été la première université au monde à concevoir et à lancer un microsatellite perfectionné dans le cadre de son programme de formation,

qui avait pour objectif de renforcer les compétences dans les nouvelles technologies de domaines tels que la télédétection, la conduite des engins spatiaux et les sciences de la terre. En Ouganda, Makerere University a adopté de nouvelles méthodes d'enseignement qui permettent aux étudiants de s'attaquer aux problèmes de santé publique qui existent dans leurs communautés dans le cadre de leur formation. Des démarches semblables peuvent être suivies par les étudiants dans d'autres domaines techniques, tels que le développement et l'entretien des infrastructures.

Sources : Juma 2008 ; Land grant colleges, <https://www.aplu.org/NetCommunity/Page.aspx?pid=183> ; sea grant colleges, <http://www.seagrant.noaa.gov/> (consulté le 31 août 2009).

Le développement d'économies intelligentes sur le plan climatique dépend également de la mise en place de mesures incitant le secteur privé à investir dans ces technologies. Cela suppose la création d'incitations réglementaires mais également d'un milieu propice, bénéficiant de programmes publics de soutien à l'innovation des entreprises et à l'absorption des technologies par ces dernières.

L'infrastructure du savoir est essentielle à la création et à l'adaptation de systèmes locaux d'atténuation et d'adaptation

Les instituts de recherche des pays en développement peuvent aider les pouvoirs publics à mieux se préparer aux conséquences du changement climatique. En Indonésie et en Thaïlande, par exemple, ces instituts utilisent des satellites de la NASA pour suivre les facteurs environnementaux influençant la transmission du paludisme en Asie du Sud-Est, tels que les régimes de précipitations et l'état de la végétation⁶¹. Ils peuvent former des partenariats avec des organismes publics et des entreprises privées pour identifier, concevoir, mettre en œuvre, exploiter et entretenir des technologies d'adaptation côtière appropriées. Ils peuvent participer à l'élaboration de stratégies d'adaptation destinées aux agriculteurs, en alliant connaissances locales et tests scientifiques de nouvelles méthodes d'agroforesterie, ou contribuer à la gestion forestière, en alliant les savoirs autochtones pour la protection de la forêt et l'utilisation de plants génétiquement supérieurs⁶². Ils peuvent aider les entreprises à améliorer le rendement énergétique de leurs processus en

leur fournissant des conseils et une formation, en effectuant des tests et en procédant à la détection et à la solution des problèmes.

Les instituts de recherche des pays à revenu intermédiaire peuvent également résoudre les problèmes d'atténuation à long terme. La maîtrise de technologies énergétiques qui pourront être utiles exige un processus d'apprentissage pouvant prendre des dizaines d'années. La santé et l'agriculture sont tributaires des biotechnologies qui permettent de développer de nouvelles technologies et de la climatologie qui fournit des éléments pour planifier l'avenir. Le développement de réseaux intelligents de distribution d'électricité repose sur la maîtrise des technologies intégrées de communication, de détection et de mesure.

Pourtant, bien qu'ils aient investi dans des établissements de recherche et des instituts universitaires, les pouvoirs publics de nombreux pays ont constaté que les retombées de ces investissements au plan du développement étaient minimales⁶³. En effet, la recherche n'est généralement pas entraînée par la demande et il n'existe que peu de liens entre les instituts de recherche, les universités, le secteur privé et les communautés au sein desquelles ils opèrent (encadré 7.8)⁶⁴. De surcroît, les universités de nombreux pays en développement ont de tous temps orienté leurs activités sur l'enseignement aux dépens de la recherche.

La réorientation des ressources publiques en faveur du financement d'activités de recherche sur une base compétitive, aux dépens de financements institutionnels garantis, contribuerait fortement à augmenter l'efficacité des instituts

publics de recherche. En Équateur, le Programme public de modernisation des services agricoles finance un système de bourses de recherche attribuées sur une base compétitive qui contribue à des activités stratégiques d'innovation visant à ouvrir de nouveaux marchés d'exportation en luttant contre les mouches des fruits, en réduisant les coûts de production des nouveaux produits d'exportation et en luttant contre les maladies et les espèces nuisibles frappant les cultures traditionnelles d'exportation. Ce programme a instauré une nouvelle culture de recherche et a attiré de nouvelles organisations dans le réseau de chercheurs. L'obligation de cofinancement a permis d'accroître le montant des ressources consacrées à la recherche nationale de 92 %⁶⁵. Des réformes institutionnelles faisant davantage participer le secteur privé dans la gouvernance des instituts de recherche et récompensant le transfert de connaissances et de technologies à des clients externes peuvent également jouer un rôle utile⁶⁶. Dans certains cas, les « institutions-relais », telles que les pépinières d'entreprises, peuvent faciliter la diffusion des connaissances au-delà des instituts de recherche. En 2007, 283 sociétés de production de technologies propres étaient en phase d'incubation dans le monde (sans même compter la Chine), soit deux fois plus qu'en 2005⁶⁷.

Les pays à revenu élevé peuvent appuyer le développement et la diffusion à l'échelle mondiale de systèmes intelligents sur le plan climatique en contribuant au renforcement des capacités et en établissant des partenariats avec les instituts de recherche des pays en développement. International Research Institute for Climate and Society (Institut international de recherche pour le climat et la société) de Columbia University, aux États-Unis, qui collabore avec des instituts nationaux en Afrique, en Asie et en Amérique latine est un bon exemple de ce type de partenariat.

C'est également le cas du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR), réseau mondial coopératif, décentralisé et financé par les bailleurs, qui regroupe des instituts de recherche et cible déjà plusieurs domaines pertinents pour l'adaptation au changement climatique (encadré 7.9). Une approche similaire pourrait être utilisée pour d'autres technologies climatiques. L'expérience du CGIAR suggère que les pays en développement peuvent financer des centres régionaux de recherche pour qu'ils concentrent leurs travaux sur un nombre restreint de domaines clairement définis au niveau de la région, tels que la biomasse, la bioénergie, les bâtiments à rendement énergétique élevé, l'atténuation des émissions de méthane et la gestion forestière.

Les institutions du savoir peuvent éclairer l'action publique et en faciliter la coordination, surtout en ce qui concerne les politiques d'adaptation propres au contexte local. Il est important, à mesure que l'adaptation au changement climatique s'intègre aux processus politiques, de parta-

ger les solutions et expériences dans ce domaine⁶⁸. Alors que les planificateurs, les gestionnaires et les responsables de l'action publique commencent à reconnaître que les décisions que chacun d'eux prennent peuvent, conjointement contribuer à réduire la vulnérabilité au changement climatique, il importe de saisir l'opportunité extraordinaire qui s'offre de renforcer la coordination intersectorielle pour améliorer l'utilisation des ressources et partager de précieuses informations avec d'autres nations, régions et localités⁶⁹. La création et la gestion d'un « centre d'échanges » diffusant les succès remportés et les options recensées dans le monde en matière d'adaptation aideront les communautés à prendre des décisions dans ce domaine⁷⁰.

La tarification du carbone et la réglementation, instruments de mobilisation du secteur privé

Comme expliqué au chapitre 4, il est essentiel d'établir une tarification du carbone pour catalyser l'innovation pilotée par le marché et l'adoption de technologies d'adaptation⁷¹. Les entreprises seront probablement incitées à financer de nouveaux types d'investissements technologiques par suite de l'évolution des prix relatifs ; ils pourront ainsi réaliser des économies en ayant moins recours aux intrants dont le prix a augmenté⁷². Tout indique que la tarification peut amener des changements technologiques⁷³. Une étude a montré que, si les prix de l'énergie étaient restés à leurs faibles niveaux de 1973 jusqu'en 1993, le rendement énergétique des climatiseurs aurait été 16 % plus faible aux États-Unis⁷⁴.

Un cadre réglementaire bien appliqué peut également stimuler l'innovation. À l'instar de la tarification du carbone, les normes en matière d'émissions ou de rendement énergétique peuvent amener des changements technologiques car elles peuvent être assorties de prix implicites que les entreprises doivent payer en cas d'émission de polluants⁷⁵. Aux États-Unis, les demandes de brevets portant sur des technologies visant à réduire les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) n'ont commencé à augmenter qu'à la fin des années 60, en prévision de l'entrée en vigueur de nouvelles normes nationales. Entre 1975 et 1995, les progrès technologiques ont permis de réduire de moitié les coûts d'investissement associés à l'élimination du SO₂ produit par les centrales électriques ; le pourcentage des émissions de SO₂ éliminées est passé de 75 à 95 %⁷⁶. La réglementation peut également fournir aux entreprises des micromarchés, propices à l'élaboration de nouvelles technologies, et procurer aux pays un avantage concurrentiel. En 2004, l'interdiction des motos à essence dans plusieurs zones urbaines de Chine – qui a coïncidé avec l'amélioration des technologies de propulsion électrique et de stockage de l'électricité, le développement de l'urbanisation et l'augmentation des prix de l'essence et du pouvoir d'achat – a favorisé le développement du marché des vélos électriques, dont le nombre est passé de seulement 40 000 en 1998 à 21 millions en 2008.

ENCADRÉ 7.9 *Le CGIAR : un modèle à retenir pour la lutte contre le changement climatique ?*

Le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) est un partenariat stratégique qui rassemble 64 membres représentant des pays en développement et industrialisés, des fondations et des organisations internationales, parmi lesquelles figure la Banque mondiale. Fondé en 1971 alors que l'on craignait que de nombreux pays en développement ne succombent à la famine, il a fortement contribué à l'augmentation de la productivité agricole, grâce à l'amélioration des variétés culturales, et a joué un rôle déterminant dans l'avènement de la Révolution verte. Le mandat du CGIAR s'est progressivement élargi pour inclure les aspects politiques et institutionnels, la conservation de la biodiversité et la gestion des ressources naturelles, dont les pêcheries, les forêts, les sols et l'eau.

Le CGIAR appuie la recherche agricole non seulement en fournissant une assistance à 15 centres de recherche, institutions indépendantes disposant de leurs propres personnels et structures de gouvernance, situées en majorité dans les pays en développement, mais aussi en poursuivant des programmes pionniers. Ces partenariats de recherche indépendants de grande envergure ont été constitués pour s'attaquer à de grands problèmes mondiaux ou régionaux, tels que la conservation et l'amélioration des ressources génétiques, les pénuries d'eau,

les carences en micronutriments et le changement climatique. En 2008, le CGIAR a lancé un examen indépendant de sa gouvernance, de ses activités scientifiques et de ses partenariats, qui a abouti à la conclusion que les recherches du Groupe consultatif avaient, globalement, produit de très bons résultats depuis sa création et que leurs retombées positives étaient de loin supérieures aux coûts encourus. Les gains permis par l'amélioration et la stabilisation des rendements obtenus grâce aux variétés culturales produites par les centres et leurs partenaires nationaux sont estimés à plus de dix milliards de dollars par an et sont essentiellement dus à l'amélioration des variétés de blé, de riz et de maïs. La recherche sur la gestion des ressources naturelles peut également procurer des avantages substantiels et d'importants retours sur investissement. Mais l'impact de ces efforts varie selon les régions en raison de multiples facteurs tels que la possibilité d'une action collective, la disponibilité de services de vulgarisation ou le système d'assignation des droits de propriété. Pour reprendre les termes de l'examen, le CGIAR est « un des partenariats de développement les plus novateurs du monde » grâce à la multidisciplinarité de ses travaux de recherche et à l'éventail de ses activités de collaboration. Mais l'examen a aussi débouché sur la conclusion que le CGIAR a cessé d'axer son action sur les domaines dans lesquels

elle jouit d'un avantage comparatif et que l'élargissement de son mandat a amoindri son impact. Dans le même temps, la volatilité des prix des denrées alimentaires, l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes, l'augmentation de la demande alimentaire mondiale et les pressions pesant de plus en plus sur les ressources naturelles rendent la tâche du CGIAR extrêmement difficile.

Le CGIAR a adopté un nouveau modèle de fonctionnement en décembre 2008. Cette réforme a donné lieu à l'adoption d'une approche-programme visant un nombre restreint de « mégaprogrammes » stratégiques portant sur des problèmes de fond. Elle privilégie également la formulation et la gestion de programmes de recherche axés sur les résultats, une définition claire des responsabilités, la rationalisation de la gouvernance et des programmes et le renforcement des partenariats. Grâce à cette réforme, le CGIAR devrait pouvoir s'attaquer plus efficacement à de nombreux problèmes mondiaux tels que le changement climatique. Il est toutefois encore trop tôt pour mesurer son succès.

Sources : Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, <http://www.cgiar.org/> (consulté le 5 mars 2009) ; Comité d'examen indépendant du CGIAR 2008 ; Conseil scientifique du CGIAR 2008 ; Banque mondiale 2008a.

Ces vélos sont aujourd'hui le mode de transport motorisé le moins cher et le plus propre, devant les autobus (figure 7.8), et la Chine exporte désormais ces véhicules à faible intensité de carbone aux pays développés⁷⁷.

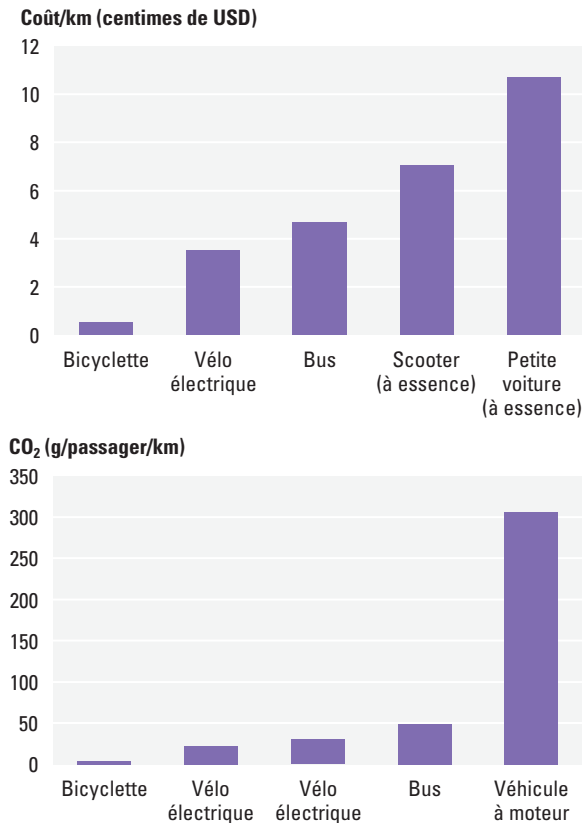
Mais la réglementation peut aussi présenter des inconvénients si elle est utilisée indépendamment de tout autre facteur. Contrairement aux signaux par les prix, elle peut limiter la marge de manœuvre des entreprises, notamment lorsqu'elle vise des technologies spécifiques. Elle peut également se solder par des options d'atténuation plus coûteuses pour la société. Mais elle constitue un complément nécessaire à la tarification du carbone (voir chapitre 4). Des études ont analysé les effets comparatifs sur l'innovation des réglementations environnementales et des incitations guidées par le marché : il est généralement admis que l'association de différents moyens d'intervention est probablement l'approche la

plus efficace, tant que leur élaboration et leur application se font de manière prévisible pour les parties prenantes⁷⁸.

Un environnement économique propice fournit le cadre de base nécessaire à l'innovation et à la diffusion de technologies intelligentes sur le plan climatique

Il faut que les marchés fonctionnent correctement pour que les entreprises ne soient pas exposées à des risques inutiles, aient accès à l'information, opèrent dans un cadre juridique clairement défini et puissent s'appuyer sur des autorités responsables. La consolidation des régimes fonciers, la documentation des droits fonciers, le renforcement des marchés de la location et de la vente de biens fonciers et l'élargissement de l'accès aux services financiers peuvent créer des incitations au transfert de technologies pour les petits

Figure 7.8 Les vélos électriques comptent parmi les moyens de transport les moins chers et les plus propres de Chine



Sources : Cherry 2007 ; Weinert, Ma et Cherry 2007 ; photographie de la Fondation Wikipedia.
 Remarque : Les émissions des vélos électriques couvrent l'intégralité de leur cycle de vie, à savoir la production, la production d'énergie et l'utilisation. Dans le cas des bicyclettes classiques, les émissions comprennent uniquement celles associées à la production.

exploitants ruraux (voir chapitre 3)⁷⁹. Un cadre des affaires porteur doit toutefois reconnaître les droits fondamentaux des groupes vulnérables, en particulier des peuples autochtones, qui dépendent fortement de la terre et des ressources naturelles. Un grand nombre d'entre eux ont perdu leurs terres, vivent sur de petites parcelles ou ne jouissent pas d'un statut d'occupation assuré⁸⁰.

La réduction des obstacles à la participation des entreprises et l'existence d'un marché du travail souple favorisent le lancement de jeunes sociétés technologiques pouvant produire des innovations majeures et des agroindustries pouvant offrir de nouveaux types d'engrais ou de semences aux agriculteurs⁸¹. Le cas du millet perlé hybride en Inde montre que la libéralisation du marché à la fin des années 80 a accru non seulement le rôle des sociétés privées dans le développement et la distribution de semences mais également les taux d'innovation⁸². La stabilité macroéconomique est une autre condition essentielle à un environnement économique porteur, au même titre qu'un secteur financier fonctionnant de manière harmonieuse. Il est aussi indispensable que les services d'infrastructure de base soient fiables, notamment pour assurer un approvisionnement continu en énergie et en eau.

L'élimination des obstacles tarifaires et non tarifaires aux technologies faisant appel à des énergies propres – telles que le charbon propre, l'énergie éolienne, les convertisseurs photovoltaïques et l'éclairage à haut rendement énergétique – pourrait accroître de 14 % le volume des échanges de ces technologies dans les 18 pays en développement où les taux d'émission de gaz à effet de serre sont élevés⁸³. Les obstacles commerciaux aux importations, tels que les quotas, les règles d'origine ou le manque de clarté des nomenclatures douanières, peuvent entraver le transfert de technologies intelligentes sur le plan climatique en augmentant leur prix sur les marchés intérieurs et en diminuant leur rapport coût-efficacité. En Égypte, les droits de douane applicables aux panneaux photovoltaïques sont de 32 % en moyenne, soit dix fois plus que les 3 % imposés par les pays à revenu élevé membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Au Nigéria, les utilisateurs potentiels de panneaux photovoltaïques sont soumis à des obstacles non tarifaires de 70 % en plus de droits de douane de 20 %⁸⁴. Les droits de douane sont particulièrement élevés pour les biocombustibles. Les droits frappant l'éthanol et d'autres produits entrant dans la fabrication du biodiesel, y compris

les droits d'importation et d'exportation d'éthanol brésilien, se sont élevés à six milliards de dollars en 2006. Cette année-là, les subventions fournies par les pays de l'OCDE à leurs producteurs de biocombustibles se sont chiffrées à onze milliards de dollars. Il s'ensuit que les investissements ne sont pas réalisés là où les technologies ont le meilleur rapport coût-efficacité. Le Brésil, qui produit l'éthanol le moins cher du monde, a augmenté sa production de 6 % seulement entre 2004 et 2005 tandis que les États-Unis et l'Allemagne ont augmenté leur production de 20 et 60 % respectivement parce celle-ci était protégée par l'imposition de droits d'entrée de plus de 25 % aux États-Unis et de plus de 50 % dans l'UE⁸⁵. L'élimination de ces droits et subventions aurait vraisemblablement pour effet de déplacer la production vers les producteurs de biocombustibles les plus efficaces⁸⁶.

Un climat propice aux investissements étrangers directs (IED) est essentiel à l'accélération du transfert et de l'absorption des technologies⁸⁷. En 2007, les IED ont représenté, dans les pays en développement, 12,6 % de la formation brute totale de capital fixe dans les domaines de l'électricité, du gaz et de l'eau, soit le triple de l'aide multilatérale et bilatérale⁸⁸. Les entreprises transnationales ayant leur siège dans des pays à revenu élevé ont investi massivement dans la production de convertisseurs photovoltaïques en Inde (BP Solar), d'éthanol au Brésil (Archer Daniels Midland et Cargill) et d'énergie éolienne en Chine (Gamesa et Vestas). La Chine comptait un laboratoire de R-D sous contrôle étranger en 1993, mais 700 en 2005⁸⁹. General Electric, un leader mondial dans les domaines des équipements de production d'énergie et de produits à haut rendement, a ouvert en 2000 des centres mondiaux de R-D en Inde et en Chine, qui emploient aujourd'hui des milliers de chercheurs. La figure 7.9 illustre les opportunités nées de la mondialisation de la R-D et de la production d'équipements éoliens dans les pays à revenu intermédiaire.

Le développement de capacités de production intérieures peut aider, à long terme, ces pays à absorber des technologies intelligentes sur le plan climatique et à être compétitifs sur les marchés mondiaux, ce qui fera baisser les prix et améliorera les performances. Il est possible d'accélérer ce processus par le biais de la concession de licences ou d'investissements étrangers directs.

Pour faciliter le transfert de technologies intelligentes sur le plan climatique, les pays à revenu intermédiaire peuvent autoriser des sociétés étrangères à créer des filiales dont elles détiennent l'intégralité du capital plutôt que d'obliger ces sociétés à former des coentreprises ou à obtenir des licences d'exploitation. Ils peuvent également créer une base de fournisseurs locaux et de partenaires potentiels pour des sociétés dont le capital est détenu par des intérêts étrangers en investissant dans la formation et le renforcement des capacités⁹⁰. Et ils peuvent veiller à ce que leurs droits de propriété intel-

lectuelle protègent bien le transfert de technologies étrangères et la R-D.

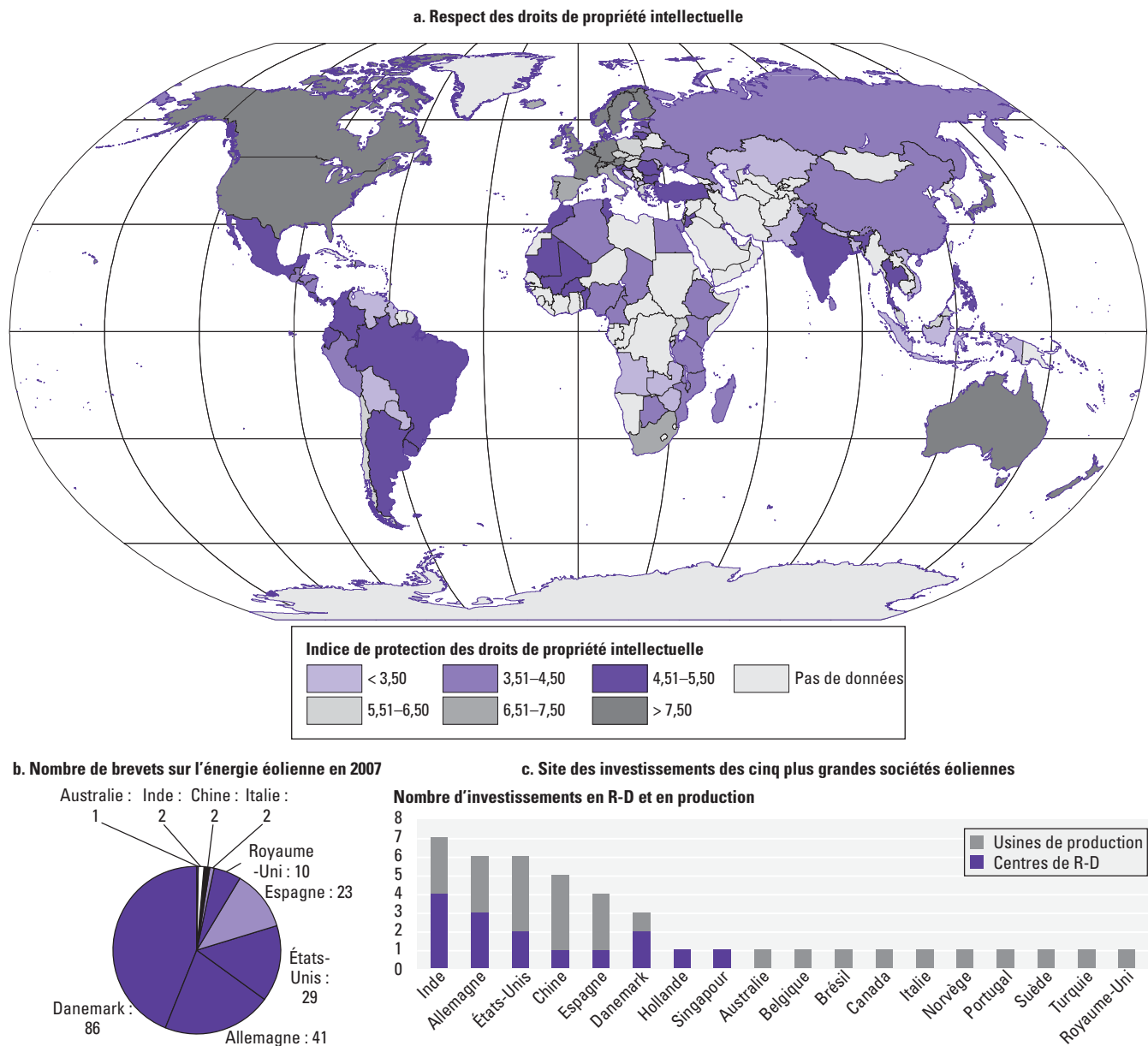
Dans les pays où les droits de propriété intellectuelle (DPI) ne sont guère respectés (voir figure 7.9), les sociétés étrangères ne sont pas nécessairement enclines à accorder des licences portant sur leurs technologies les plus complexes, de peur que leurs concurrents ne les utilisent – ce qui est le cas de l'équipement éolien en Chine⁹¹. L'insuffisance des efforts déployés pour assurer le respect des DPI décourage les filières étrangères d'accroître l'envergure de leurs activités de R-D et les investisseurs étrangers en capital-risque d'investir dans des entreprises nationales prometteuses⁹². Bien qu'elles investissent dans le secteur manufacturier local et la R-D, les filiales étrangères de producteurs mondiaux d'équipement éolien déposent très peu de brevets au Brésil, en Chine, en Inde ou Turquie. Les carences que présentent les régimes de DPI dans ces pays pourraient décourager la poursuite de la R-D à plus grande échelle⁹³.

Il peut toutefois aussi arriver que les DPI entravent l'innovation ; c'est le cas lorsqu'un brevet fait obstacle à d'autres inventions utiles parce que son champ d'application est trop large. D'aucuns font valoir que certains brevets de biologie synthétique, prometteurs pour la fabrication de biocombustibles synthétiques, ont une portée tellement vaste qu'ils pourraient enrayer les progrès scientifiques dans des domaines connexes⁹⁴. Des DPI trop stricts peuvent également entraver le transfert de technologie si les entreprises refusent d'octroyer des licences pour préserver leur emprise sur le marché.

Rien ne permet d'affirmer que des DPI trop restrictifs aient fortement entravé le transfert de la capacité de production d'énergies renouvelables vers les pays à revenu intermédiaire, mais certains craignent que cela puisse devenir le cas. Le Brésil, la Chine et l'Inde ont rejoint les grands leaders industriels mondiaux en matière de convertisseurs photovoltaïques, d'énergie éolienne et de biocombustibles, souvent en acquérant des technologies exploitées sous licence. Les DPI pourraient constituer un obstacle croissant aux transferts de technologies à mesure que les dépôts de brevets sur les convertisseurs photovoltaïques et les biocombustibles augmenteront et que les fabricants d'équipements éoliens se regrouperont⁹⁵.

Dans les pays à faible revenu, le peu de moyens disponibles pour faire respecter les DPI ne semble pas entraver le déploiement de technologies complexes, intelligentes sur le plan climatique. Des DPI fiables et clairement définis pourraient néanmoins stimuler le transfert de technologies en provenance de l'étranger. Dans ces pays, les accords d'exploitation sous licence et la fabrication de versions locales d'une technologie ne sont pas des options réalistes parce que les capacités de production nationale sont limitées⁹⁶. L'absorption des technologies énergétiques passe généralement par l'importation de matériel. En ce qui concerne

Figure 7.9 Les pays à revenu intermédiaire attirent des investissements des cinq plus grands fabricants d'équipements éoliens mais les lacunes des régimes de protection des droits de propriété intellectuelle entravent les transferts de technologie et les capacités de R-D



Sources : Données sur les brevets publiés provenant des bases de données des États-Unis, du Japon, ainsi que des bases de données européennes et internationales sur les demandes de brevets, de rapports annuels et des sites web de Vestas, General Electric, Gamesa, Enercon et Suzlon (consultés le 4 mars 2009) ; Dedigama 2009.
 Remarque : Le score d'un pays correspond à son rang, fondé sur l'indice DPI, qui dépend des politiques de protection de la propriété intellectuelle et de leur respect.

l'adaptation au changement climatique, les brevets et droits d'obtention végétale détenus par les pays développés posent rarement problème dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Un brevet déposé dans un pays particulier ne peut être protégé que sur le marché correspondant et les sociétés étrangères ne protègent pas leur propriété intellectuelle dans de nombreux pays à faible revenu car ces derniers ne présentent pas des débouchés intéressants ou ne comptent pas de

concurrents potentiels. Les pays les plus démunis peuvent donc décider d'utiliser un gène ou un outil provenant de l'étranger⁹⁷.

Les pays à revenu élevé peuvent veiller à ce qu'une consolidation excessive des entreprises dans les secteurs intelligents sur le plan climatique ne réduise pas les incitations à signer des contrats d'exploitation sous licence avec les pays en développement. Ils peuvent également veiller à ce que les

politiques nationales n'empêchent pas les sociétés étrangères d'accorder des licences portant sur des recherches financées par des fonds publics pour des technologies intelligentes sur le plan climatique importantes à l'échelle mondiale. Dans de nombreux pays, les universités ne sont pas autorisées à octroyer à des sociétés étrangères des licences portant sur des technologies financées par l'État⁹⁸. D'autres propositions ont été avancées, notamment le rachat de brevets et le transfert de DPI intelligents sur le plan climatique dans le domaine public par des organisations internationales.

Les pays à revenu élevé peuvent également veiller à ce que les préoccupations concernant les DPI et l'innovation et le transfert de technologies intelligentes sur le plan climatique soient prises en compte dans les traités internationaux tels que ceux de l'Organisation mondiale du commerce (OMC). L'accord de l'OMC sur les aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce (ADPIC) définit les normes juridiques minimales de protection des membres de l'OMC. Mais cet accord reconnaît également que les brevets ne devraient pas être employés de manière abusive, c'est-à-dire qu'ils ne devraient pas empêcher l'utilisation de technologies nécessaires pour répondre à des besoins urgents dans des pays en développement. En pratique, l'accord sur les ADPIC contient des dispositions qui permettent aux pays en développement d'exploiter des inventions brevetées sans le consentement du détenteur des DPI⁹⁹. L'OMC et ses membres peuvent limiter les abus associés à la protection des DPI en veillant à ce que l'accord sur les ADPIC accorde des exceptions de ce type pour les technologies d'atténuation et d'adaptation.

Il est toutefois fort possible que, de manière générale, l'impact des DPI sur le transfert de technologies soit exagéré par comparaison à celui d'autres facteurs comme les coûts de gestion et de formation, ou d'obstacles tels qu'une capacité d'absorption limitée. Le renforcement des compétences d'ingénierie pourrait contribuer pour beaucoup à l'amélioration de la capacité d'absorption des pays en développement.

Des financements publics peuvent aider les entreprises à surmonter les défaillances du marché dans les domaines de l'innovation et de la diffusion des technologies

Il existe une limite à la mesure dans laquelle la tarification du carbone et les normes d'émission peuvent contribuer à accroître les investissements dans l'innovation et les technologies à faible intensité de carbone. Les technologies ne sont pas toujours adoptées rapidement, même lorsqu'elles sont économiquement intéressantes pour leurs utilisateurs potentiels (voir encadré 4.5 du chapitre 4). Pour accélérer l'évolution technologique, il importe d'associer l'octroi de fonds publics à la tarification du carbone et aux réglementations de manière à pouvoir explorer un large portefeuille d'options technologiques¹⁰⁰. Les défaillances bien connues du marché en ce domaine, dont témoigne l'insuffisance

des investissements du secteur privé dans l'innovation et la diffusion des technologies, motivent les politiques de financement public depuis des décennies¹⁰¹.

Dans les pays à revenu intermédiaire dotés de capacités industrielles, l'aide financière peut appuyer la conception, la production et l'exportation de systèmes intelligents sur le plan climatique. Les politiques de financement public peuvent définir l'innovation au sens large de sorte à inclure l'adaptation, l'amélioration et le développement de produits, de processus et de services nouveaux pour une entreprise, qu'ils soient ou non nouveaux pour leurs marchés. Cette approche permet de prendre en compte les retombées de la R-D sur le renforcement de la capacité d'absorption technologique¹⁰². Par exemple, la Fondation turque pour le développement de la technologie offre des prêts pouvant atteindre un million de dollars et ne portant pas intérêt aux entreprises qui adoptent ou développent des systèmes axés sur le rendement énergétique, les énergies renouvelables ou des modes de production propre¹⁰³. Dans les petits pays à faible revenu, où les obstacles à l'absorption des technologies sur le marché sont encore plus nombreux, les autorités publiques peuvent financer, sur une base sélective, l'absorption de technologies dans les entreprises, ainsi que la formation et les conseils techniques correspondants.

Les programmes de diffusion de la technologie bénéficiant d'une aide publique peuvent combler les lacunes en matière d'information et de savoir-faire dont souffrent les entreprises, les agriculteurs et les organismes publics. Les programmes les plus efficaces sont ceux qui répondent à une demande réelle, s'attaquent à de multiples obstacles et font participer les institutions communautaires dès le départ. Cette démarche permet en effet d'obtenir le soutien des communautés locales et d'assurer la pérennité des programmes ainsi que leur compatibilité avec les objectifs de développement locaux¹⁰⁴. En Afrique du Sud, le Projet de démonstration de production propre destiné aux ateliers de finissage du métal a donné de bons résultats essentiellement parce qu'il s'est attaqué simultanément à toute une gamme de problèmes allant du manque d'information sur les avantages des technologies propres, à l'absence de textes de loi et des moyens de les faire respecter. Ce projet entraîné par la demande a obtenu le soutien de toutes les parties prenantes, soit un large éventail de propriétaires de sociétés, d'administrateurs, d'employés, de consultants, de responsables de la réglementation et de fournisseurs, et a donné lieu, conjointement, à des campagnes de sensibilisation, à des activités de formation, à des services de conseils techniques et à un appui financier¹⁰⁵. En Chine, la stratégie adoptée par l'État pour améliorer et diffuser des fourneaux à biomasse utilisés pour la cuisson des aliments a également remporté un vif succès parce qu'elle a reconnu la nature novatrice de ces systèmes et qu'elle a été essentiellement formulée pour répondre à une demande (encadré 7.10).

ENCADRÉ 7.10 *L'utilisation de fourneaux améliorés pour la cuisson des aliments peut réduire la production de suie et présente d'importants avantages pour la santé humaine et pour l'atténuation*

Près de deux milliards d'habitants de pays en développement dépendent de la biomasse pour se chauffer et se nourrir. Les fourneaux rudimentaires utilisés dans les zones rurales que ce soit d'Amérique centrale ou d'Afrique, en Inde ou en Chine émettent du CO₂ ainsi que du noir de carbone (minuscules particules de carbone composant la suie) et des produits de combustion incomplète (monoxyde de carbone, composés azotés, méthane et composés organiques volatils). Ces produits présentent un risque grave pour la santé. On estime que l'inhalation de fumée due à la combustion de biomasse solide à l'intérieur d'une habitation contribue chaque année à la mort de 1,6 milliard de personnes dans le monde, dont un million d'enfants de moins de cinq ans. De récentes études suggèrent que la contribution du noir de carbone au changement climatique pourrait être deux fois plus élevée que ne l'indiquaient les estimations antérieures du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Selon de nouvelles analyses, le noir de carbone pourrait être responsable de plus de 70 % du réchauffement de l'Arctique depuis 1976 et avoir largement contribué au recul des glaciers de l'Himalaya. Si l'on considère que les combustibles solides utilisés dans les fourneaux servant à la cuisson des aliments dans les pays en développement sont à l'origine de 18 % des émissions de noir de carbone, il ne fait aucun doute que les nouvelles technologies, qui améliorent la combustion et réduisent donc la suie et les émissions d'autres gaz, peuvent présenter des avantages non seulement pour la santé des populations mais aussi pour l'atténuation du changement climatique. De nombreux financements ont été accordés dans le but de promouvoir l'utilisation de fourneaux à gaz de pétrole liquéfié (GPL), plus propres que les fourneaux à biomasse, essentiellement revêtues sous forme de subventions du GPL ; ces efforts n'ont toutefois pas permis de diffuser largement cette technologie dans les pays en développement car, malgré les subventions, accordées, le GPL

est resté hors de portée de la majorité des populations pauvres. Les programmes publics menés ces vingt dernières années pour promouvoir l'adoption de fourneaux à biomasse améliorés n'ont pas toujours eu les résultats escomptés. En Inde, l'État a subventionné à 50 % le coût des huit millions de fourneaux qu'il a distribués. Le programme a toutefois rencontré quelques problèmes initiaux parce que la conception des fourneaux était mal adaptée aux ustensiles employés et aux aliments cuisinés par les utilisateurs ; l'État a donc mené de nouveaux travaux de recherche durant les cinq dernières années dans le but d'y pallier. Les fourneaux améliorés commencent à connaître un certain succès dans d'autres pays. En Chine, les pouvoirs publics ont reconnu qu'il leur fallait impérativement répondre aux besoins des populations, et que cela n'était pas compatible avec une approche descendante fondée sur l'offre. Ils ont donc limité leur rôle à la recherche, à la formation technique, à la formulation des normes de fabrication et à la réduction des obstacles bureaucratiques à la production et à la diffusion des nouveaux fourneaux, tandis que le secteur privé a été mobilisé pour assurer leur distribution sur le terrain. Compte tenu des récents progrès technologiques dans le domaine des fourneaux à biomasse, de leur effet sur la santé et de leur impact, récemment établi, sur le changement climatique, il est souhaitable de produire et de commercialiser des quantités considérablement plus importantes de fourneaux à biomasse de haute qualité. Les fourneaux les plus efficaces seront ceux qui sont accessibles aux plus pauvres, adaptables aux besoins de cuisson locales, durables et attrayants pour le consommateur. Le projet Surya, qui est un programme pilote, va lancer l'évaluation scientifique la plus détaillée et rigoureuse effectuée à ce jour de l'efficacité des nouveaux fourneaux sur le plan du changement climatique et de la santé humaine. Le projet appuiera la distribution de nouveaux modèles de fourneaux à 15 000 ménages dans trois régions

Une femme prépare un repas sur un poêle Envirofit G-3300



Photo : Envirofit India.

de l'Inde. En mesurant les polluants à l'aide de capteurs ultramodernes, ainsi que le réchauffement solaire de l'air, et en intégrant ces données aux mesures données par les satellites de la NASA, l'équipe du projet espère observer un « trou de noir de carbone », à savoir l'absence des particules de noir de carbone habituelles, au-dessus des zones d'intervention, et mesurer leur impact sur les températures et la santé publique dans la région. Cette étude permettra également de mieux comprendre comment les futurs programmes de promotion de fourneaux doivent prendre en compte les besoins et les comportements des ménages.

Sources : Bond *et al.* 2004 ; Columbia Earthscape, <http://www.earthscape.org/r1/kad09/> (consulté le 14 mai 2009) ; Forster *et al.* 2007 ; Hendriksen, Ruzibuka et Rutagambwa 2007 ; Projet Surya, <http://www.ramanathan.ucsd.edu/ProjectSurya.html> (consulté le 31 août 2009) ; Ramanathan et Carmichael 2008 ; Ramanathan, Rehman et Ramanathan 2009 ; Shindell et Faluvegi 2009 ; Smith, Rogers et Cowlin 2005 ; PNUE 2008b ; Watkins et Ehst 2008.

Comme indiqué au chapitre 4, la passation des marchés publics est un autre instrument d'entraînement par le marché susceptible de créer des créneaux pour les technologies intelligentes sur le plan climatique, mais elle exige une bonne gouvernance et un cadre institutionnel solide. Les préférences manifestées dans le cadre des marchés publics peuvent stimuler l'innovation intelligente sur le plan climatique et l'adoption des technologies lorsque l'État est un client important dans des domaines tels que la gestion des eaux usées, le bâtiment et l'équipement et les services de transport. L'Allemagne et la Suède demandent déjà le respect de critères écologiques dans plus de 60 % de leurs appels d'offres¹⁰⁶.

Pour éviter un changement climatique ingérable, surmonter ses impacts inévitables sur la société et atteindre les objectifs de développement mondiaux, il faudra considérablement intensifier les efforts internationaux déployés pour diffuser les technologies existantes et en déployer de nouvelles. Dans le cas d'ambitieuses initiatives hautement prioritaires, telles que le piégeage et le stockage du carbone, les pays peuvent mettre leurs ressources en commun et partager les risques et les connaissances tirées des activités conjointes de RDD-D. Ils peuvent également créer de nouveaux mécanismes de financement mondiaux. Il ne suffira pas de mener des politiques de « stimulation par la technologie » fondées sur un volume croissant d'investissements publics dans la R-D pour atteindre les objectifs technologiques. Il faudra aussi mener des politiques « d'entraînement par le marché » offrant aux secteurs public et privé des incitations à faire preuve d'esprit d'entreprise, à collaborer et à rechercher des solutions novatrices hors des sentiers battus.

Le monde doit veiller à ce que les progrès technologiques atteignent rapidement les pays qui sont les moins aptes à les adopter mais qui en ont le plus besoin. Pour diffuser des technologies intelligentes sur le plan climatique, il ne sera

pas possible de se contenter d'expédier des matériels prêts à l'emploi aux pays en développement. Il faudra constituer des capacités d'absorption des technologies et renforcer les moyens dont disposent les secteurs public et privé pour identifier, adopter, adapter, améliorer et employer les technologies les plus appropriées. Il faudra également créer des environnements propices au transfert de technologies d'atténuation et d'adaptation entre pays, par le biais du commerce et de l'investissement.

Notes

1 Conseil mondial de l'énergie éolienne, http://www.gwec.net/fileadmin/documents/PressReleases/PR_stats_annex_table_2nd_feb_final_final.pdf (consulté en avril 2009)

2 Metcalfe et Ramlogan 2008

3 Edmonds *et al.* 2007 ; Stern 2007 ; Banque mondiale 2008a

4 La majorité des modèles d'évaluation intégrée indique que la demande de capacité de stockage ne devrait pas dépasser 600 gigatonnes de carbone (2 220 gigatonnes de dioxyde de carbone) au cours du siècle. Les estimations publiées situent la capacité de stockage géologique potentielle mondiale à environ 3 000 gigatonnes de carbone (11 000 gigatonnes de dioxyde de carbone). Dooley, Dahowski et Davidson 2007.

5 SEG 2007. Voir en particulier l'annexe B « Sectoral Toolkit for Integrating Adaptation into Planning/Management and Technology/R & D. »

6 Heller et Zavaleta 2009.

7 Hulse 2007

8 Secrétariat du Commonwealth 2007.

9 McKinsey Global Institute 2007.

10 Leadbeater *et al.* 2008.

11 Aghion *et al.* 2005.

12 Salter et Martin 2001.

13 De Ferranti *et al.* 2003.

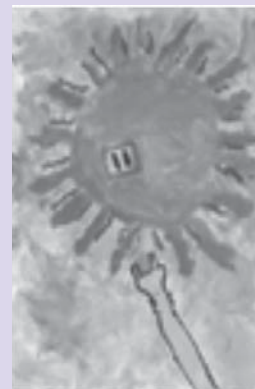
14 Barlevy 2007.

15 Robins *et al.* 2009.

16 Berkhout 2002.

« J'aimerais que cette peinture transmette à tout le monde, y compris aux dirigeants de la planète, mon espoir d'arrêter le réchauffement planétaire, de promouvoir l'utilisation du soleil car il est puissant, propre et pratiquement inépuisable... Si nous le voulons, nous pouvons en faire notre source d'énergie quotidienne. Les autorités nationales et les sociétés devraient encourager l'utilisation de l'énergie solaire et les scientifiques devraient chercher le meilleur moyen de le faire, de sorte que les gens puissent facilement l'utiliser dans leurs maisons, appareils, machines, usines et véhicules. »

— Laura Paulina Tercero Araiza, Mexique, 10 ans



- 17 PNUE 2008a.
- 18 A. Gentleman, « Bangalore Turning into a Power in Electric Cars. » *International Herald Tribune*, 14 août 2006 ; Maini 2005 ; S. Nagrath, « Gee Whiz, It's A Reva ! The Diminutive Indian Electric Car Is a Hit on the Streets of London. » *Businessworld*, 19 décembre 2008.
- 19 Le nombre de brevets est souvent utilisé pour mesurer l'activité inventive mais il présente des inconvénients car certains types d'inventions se prêtent moins au dépôt de brevets que d'autres
- 20 OCDE 2008 ; Dechezleprêtre *et al.* 2008
- 21 AIE 2008a ; SEG 2007 ; Stern 2007 ; Nemet et Kammen 2007 ; Davis et Owens 2003 ; PCAST 1999
- 22 D'après les statistiques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) sur la RD-D menée par ses pays membres à revenu élevé et à revenu intermédiaire (tranche supérieure), à l'exception de l'Australie, de la Belgique, de l'Espagne, de la Grèce, du Luxembourg, de la Pologne, de la République slovaque et de la République tchèque
- 23 AIE 2008a.
- 24 OCDE 2008.
- 25 Par exemple, les variétés et méthodes culturales doivent souvent être adaptées aux conditions climatiques, pédologiques et technologiques locales.
- 26 OCDE 2008
- 27 Beintema et Stads 2008
- 28 Carlsson 2006 ; Freeman 1987 ; Lundvall 1992 ; Nelson 1996 ; OCDE 1997
- 29 PCAST 1999
- 30 AIE, <http://www.iea.org/Textbase/techno/index.asp> (consulté le 15 décembre 2008).
- 31 <http://www.energystar.gov/> (consulté le 15 décembre 2008)
- 32 Milford, Duchter et Barker 2008 ; Stern 2007
- 33 Guasch *et al.* 2007
- 34 De Coninck *et al.* 2007
- 35 De Coninck *et al.* 2007
- 36 The Millennium Technology Prize, <http://www.millennium-prize.fi> (consulté le 16 février 2009).
- 37 Jaruzelski, Dehoff et Bordia 2006
- 38 Chesbrough 2003
- 39 Newell et Wilson 2005 ; X Prize Foundation, <http://www.xprize.org/> (consulté le 15 décembre 2008).
- 40 Progressive Automotive X Prize, <http://www.progressiveautox-prize.org/> (consulté le 19 avril 2009).
- 41 La pneumonie est la principale cause infectieuse de mortalité infantile dans le monde ; Banque mondiale 2008a.
- 42 Banque mondiale 2008a.
- 43 Banque mondiale 2008a.
- 44 Branscomb et Auerswald 2002
- 45 DB Advisors 2008
- 46 PNUE 2008a
- 47 Nemet et Kammen 2007
- 48 National Center for Environmental Research, <http://www.epa.gov/ncer/sbir/> (consulté en avril 2009).
- 49 Passerelles Pacte PME, http://www.oseo.fr/a_la_une/actualites/passerelles_pacte_pme (consulté le 30 novembre 2008).
- 50 Goldberg *et al.* 2006.
- 51 Les conventions-cadres pertinentes sont celles sur le changement climatique (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ou CCNUCC), la biodiversité (Convention sur la diversité biologique), la désertification (Convention sur la lutte contre la désertification), la Convention de Ramsar sur les zones humides, les cours d'eau internationaux partagés et les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture.
- 52 Brewer 2008 ; De Coninck, Haake et van der Linden 2007 ; Dechezleprêtre, Glachant et Ménière 2007.
- 53 Doornbosch, Gielen et Koutstaal 2008 ; Fonds pour l'environnement mondial, <http://www.gefweb.org/> (consulté le 4 décembre 2008).
- 54 FEM 2008 ; FEM 2009.
- 55 Banque mondiale, Unité de financement du marché du carbone, <http://wbcarbonfinance.org/> (consulté le 4 décembre 2008).
- 56 Barrett 2006.
- 57 De Coninck *et al.* 2007.
- 58 CCS in Europe, http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/work_en.htm (consulté le 2 juillet 2009).
- 59 Institut de statistiques de l'UNESCO, <http://www.uis.unesco.org> (consulté le 18 janvier 2009).
- 60 Lundvall 2007
- 61 Humanitarian Practice Network, <http://www.odihpn.org/report.asp?id=2522> (consulté le 14 janvier 2009) ; Kiang 2006.
- 62 GIEC 2000.
- 63 Goldman et Ergas 1997 ; Banque mondiale 2007a.
- 64 Juma 2006.
- 65 Banque mondiale 2005.
- 66 Watkins et Ehst 2008.
- 67 PNUE 2008a.
- 68 Huq, Reid et Murray 2003.
- 69 Voir la gestion écosystémique au chapitre 3.
- 70 SEG 2007.
- 71 Schneider et Goulder 1997 ; Popp 2006 ; voir également le chapitre 4.
- 72 Hicks 1932.
- 73 Hayami et Ruttan 1970 ; Hayami et Ruttan 1985 ; Ruttan 1997 ; Jaffe, Newell et Stavins 2003 ; Popp 2002.
- 74 Newell, Jaffe et Stavins 1999.
- 75 Jaffe, Newell et Stavins 2003.
- 76 Taylor, Rubin et Hounshell 2005.
- 77 Weinert, Ma et Cherry 2007 ; the Climate Group 2008 ; Hang et Chen 2008 ; C. Whelan, « Electric Bikes Are Taking Off. » *New York Times*, 14 mars 2007, <http://www.time.com/time/world/article/0,8599,1904334,00.html> (consulté le 5 juillet 2009).
- 78 Bernauer *et al.* 2006.
- 79 Banque mondiale 2007b.
- 80 de Chavez et Tauli-Corpuz 2008.
- 81 Banque mondiale 2008b ; Scarpetta et Tressel 2004.
- 82 Matuschke et Qaim 2008.
- 83 Ces pays sont l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Bangladesh, le Brésil, le Chili, la Chine, la Colombie, l'Inde, l'Indonésie, le Kazakhstan, la Malaisie, le Mexique, le Nigeria, les Philippines, la République Bolivarienne de Venezuela, la République arabe d'Égypte, la Thaïlande et la Zambie. Banque mondiale 2008c.
- 84 Banque mondiale 2008c.
- 85 Steenblik 2007.
- 86 FMI 2008.
- 87 Goldberg *et al.* 2008.
- 88 Brewer 2008.
- 89 CNUCED 2005.

- 90 Maskus 2004 ; Hoekman, Maskus et Saggi 2004 ; Lewis 2007.
 91 Barton 2007.
 92 Branstetter, Fisman et Fritz Foley 2005 ; Deloitte 2007.
 93 Dedigama 2009.
 94 ICTSD 2008.
 95 Barton 2007 ; Lewis 2007 ; ICTSD 2008.
 96 Hoekman, Maskus et Saggi 2004.
 97 Banque mondiale 2007b.
 98 Barton 2007
 99 ICTSD 2008.
 100 Baker et Shittu 2006 ; Jaffe, Newell et Stavins 2003 ; Schneider et Goulder 1997 ; Popp 2006.
 101 Nelson 1959 ; Arrow 1962.
 102 Cohen et Levinthal 2009.
 103 Fondation turque pour le développement de la technologie, <http://www.ttgiv.org.tr/en/page.php?id=35> (consulté le 5 mars 2009).
 104 GIEC 2000.
 105 Koefoed et Buckley 2008.
 106 Bouwer *et al.* 2006.

Bibliographie

- Aghion, P., Angeletos, G. M., Banerjee, A. et Manova, K., « Volatility and Growth: Credit Constraints and Productivity-Enhancing Investments », Document de travail du département de l'économie 05-15, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2005.
- AIE (Agence internationale de l'énergie), *Energy Technology Perspectives: In Support of the G8 Plan of Action. Scenarios and Strategies to 2050*, Paris : AIE, 2006.
- AIE, *Energy Technology Perspective 2008: Scenarios and Strategies to 2050*, Paris : AIE, 2008a.
- AIE, *World Energy Outlook 2008*, Paris : AIE, 2008b.
- Arrow, K. J., « Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention », in *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, éd. R. Nelson, Princeton, NJ : Princeton University Press, 1962.
- Baker, E. et Shittu, E., « Profit-Maximizing R&D in Response to a Random Carbon Tax », *Resource and Energy Economics* 28 (2), 2006, p. 160-180.
- Banque mondiale, *Agricultural Investment Sourcebook*, Washington, DC : Banque mondiale, 2005.
- Banque mondiale, *Building Knowledge Economies: Advanced Strategies for Development*, Washington, DC : Institut de la Banque mondiale, 2007a.
- Banque mondiale, *World Development Report 2008: Agriculture for Development*, Washington, DC : Banque mondiale, 2007b.
- Banque mondiale, « Accelerating Clean Technology Research, Development and Deployment: Lessons from Nonenergy Sector », *Document de travail* 138, Banque mondiale, Washington, DC, 2008a.
- Banque mondiale, *Doing Business 2008 Report*, Washington, DC : Banque mondiale, 2008b.
- Banque mondiale, *International Trade and Climate Change: Economic, Legal and Institutional Perspectives*, Washington, DC : Banque mondiale, 2008c.
- Barlevy, G., « On the Cyclicity of Research and Development », *American Economic Review* 97 (4), 2007, p. 1131-1164.
- Barrett, S., « Managing the Global Commons », *Expert Paper Series Two: Global Commons*, Stockholm, Secretariat of the International Task Force on Global Public Goods, 2006.
- Barton, J. H., « Intellectual Property and Access to Clean Energy Technologies in Developing Countries: An Analysis of Solar Photovoltaic, Biofuels and Wind Technologies », *Trade and Sustainable Energy Series Issue Paper 2*, International Centre for Trade and Sustainable Development, Genève, 2007.
- Beintema, N. M. et Stads, G. J., « Measuring Agricultural Research Investments: A Revised Global Picture », *Agricultural and Technology Indicators Background Note*, International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 2008.
- Berkhout, F., « Technological Regimes, Path Dependency and the Environment », *Global Environmental Change*, 12 (1), 2002, p. 1-4.
- Bernauer, T., Engel, S., Kammerer, D. et Seijas, J., « Explaining Green Innovation », *Document de travail 17*, Center for Comparative and International Studies, Zurich, 2006.
- Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J.-H. et Klimont, Z., « A Technology-Based Global Inventory of Black and Organic Carbon Emissions from Combustion », *Journal of Geophysical Research*, 109 : D14203—doi :10.1029/2003JD003697, 2004.
- Bouwer, M., Jonk, M., Berman, T., Bersani, R., Lusser, H., Nappa, V., Nissinen, A., Parikka, K., Szuppinger, P. et Viganò, C., *Green Public Procurement in Europe 2006-Conclusions and Recommendations*, Haarlem : Virage Milieu & Management, 2006.
- Branscomb, L. M. et Auerswald, P. E., *Between Invention and Innovation: An Analysis of Funding for Early-Stage Technology Development*, Gaithersburg, MD : National Institute of Standards and Technology, 2002.
- Branstetter, L., Fisman, R. et Foley, C. F., « Do Stronger Intellectual Property Rights Increase International Technology Transfer? Empirical Evidence from U.S. Firm-Level Data », *Document de travail* 11516, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, 2005.
- Brewer, T. L., « International Energy Technology Transfer for Climate Change Mitigation: What, Who, How, Why, When, Where, How Much . . . and the Implications for International Institutional Architecture », *Document de travail* 2048, CESifo, Venice, 2008.
- Carlsson, B., « Internationalization of Innovation Systems: A Survey of the Literature », *Research Policy* 35 (1), 2006, p. 56-67.
- Conseil scientifique du CGIAR, *Report of the First External Review of the Generation Challenge Program*, Rome, Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, 2008.
- Cherry, C. R., « Electric Two-Wheelers in China: Analysis of Environmental, Safety, and Mobility Impacts », *Thèse de doctorat*, Université de Californie, Berkeley, CA, 2007.
- Chesbrough, H. W., *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Boston, MA : Harvard Business School Press, 2003.
- Climate Group, *China's Clean Revolution*, Londres : The Climate Group, 2008.
- Cohen, W. M. et Levinthal, D. A., « Innovation and Learning: The Two Faces of R&D », *Economic Journal*, 99 (397), 2009, p. 569-96.
- Commonwealth Secretariat, *Commonwealth Ministers Reference Book 2007*, Londres : Henley Media Group, 2007.
- Davis, G. et Owens, B., « Optimizing the Level of Renewable Electric R&D Expenditures Using Real Option Analysis », *Energy Policy*, 31 (15), 2003, p. 1589-1608.

- Davis, L. et Davis, J., « How Effective Are Prizes as Incentives to Innovation? Evidence from Three 20th Century Contests », Document présenté à l'Unité de recherche danoise pour la Conférence Industrial Dynamics Summer Conference on Industrial Dynamics, Innovation and Development, Elsinore, Danemark, 2004.
- DB Advisors, « Investing in Climate Change 2009 Necessity And Opportunity In Turbulent Times », Équipe mondiale, DB Advisors, Deutsche Bank Group, Francfort, 2008.
- de Chavez, R. et Tauli-Corpuz, V., *Guide on Climate Change and Indigenous Peoples*, Baguio City, Philippines : Tebtebba Foundation, 2008.
- de Coninck, H. C., Fisher, C., Newell, R. G. et Ueno, T., *International Technology-Oriented Agreements to Address Climate Change*, Washington, DC : Resources for the Future, 2007.
- de Coninck, H. C., Haake, F. et van der Linden, N. J., *Technology Transfer in the Clean Development Mechanism*, Petten, Pays-Bas : Energy Research Centre of the Netherlands, 2007.
- de Ferranti, D. M., Perry, G. E., Gill, I., Guasch, J. L., Maloney, W. F., Sanchez-Paramo, C. et Schady, N., *Closing the Gap in Education and Technology*, Washington, DC : Banque mondiale, 2003.
- Dechezleprêtre, A., Glachant, M., Hascic, I., Johnstone, N. et Menière, Y., *Invention and Transfer of Climate Change Mitigation Technologies on a Global Scale: A Study Drawing on Patent Data*, Paris : CERNA, 2008.
- Dechezleprêtre, A., Glachant, M. et Menière, Y., « The Clean Development Mechanism and the International Diffusion of Technologies: An Empirical Study », *Document de travail* 2007, 105, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, 2007.
- Dedigama, A. C., *International Property Rights Index (IPRI): 2009 Report*, Washington, DC : Property Rights Alliance, 2009.
- Deloitte, *Global Trends in Venture Capital 2007 Survey*, New York : Deloitte Touche Tohmatsu, 2007.
- Dooley, J. J., Dahowski, R. T. et Davidson, C., « CCS: A Key to Addressing Climate Change », in *Fundamentals of the Global Oil and Gas Industry 2007*, Londres : Petroleum Economist, 2007.
- Doornbosch, R., Gielen, D. et Koutstaal, P., *Mobilising Investments in Low-Emissions Technologies on the Scale Needed to Reduce the Risks of Climate Change*, Paris : table ronde de l'OCDE sur le développement durable, 2008.
- Edmonds, J., Wise, M. A., Dooley, J. J., Kim, S. H., Smith, S. J., Runci, P. J., Clarke, L. E., Malone, E. L. et Stokes, G. M., *Global Energy Technology Strategy Addressing Climate Change: Phase 2 Findings from an International Public-Private Sponsored Research Program*, Washington, DC : Battelle Pacific Northwest Laboratories, 2007.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. et Van Dorland, R., « Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing », in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, éd. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007.
- Freeman, C., *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, Londres : Pinter, 1987.
- GEF (Global Environment Facility), *Transfer of Environmentally Sound Technologies: The GEF Experience*, Washington, DC : GEF, 2008.
- GEF, *Draft Adaptation to Climate Change Programming Strategy*, Washington, DC : GEF, 2009.
- Global Wind Energy Council, *Global Wind 2008 Report*, Bruxelles : Global Wind Energy Council, 2009.
- Goldberg, I., Branstetter, L., Goddard, J. G. et Kuriakose, S., *Globalization and Technology Absorption in Europe and Central Asia*, Washington, DC : Banque mondiale, 2008.
- Goldberg, I., Trajtenberg, M., Jaffe, A. B., Sunderland, J., Muller, T. et Blanco Armas, E., « Public Financial Support for Commercial Innovation », Document de travail régional de Europe and Central Asia Chief Economist 1, Banque mondiale, Washington, DC, 2006.
- Goldman, M. et Ergas, H., « Technology Institutions and Policies: Their Role in Developing Technological Capability in Industry », *Document technique* 383, Banque mondiale, Washington, DC, 1997.
- Guasch, J. L., Racine, J. L., Sanchez, I. et Diop, M., *Quality Systems and Standards for a Competitive Edge*, Washington, DC : Banque mondiale, 2007.
- Hang, C. C. et Chen, J., « Disruptive Innovation: An Appropriate Innovation Approach for Developing Countries », *Rapport interne ETM 1/08*, Université nationale de Singapour, Division de l'ingénierie et de gestion de la technologie, Singapour, 2008.
- Hayami, Y. et Ruttan, V. W., « Factor Prices and Technical Change in Agricultural Development: The United States and Japan », *Journal of Political Economy*, 78, 1970, p. 1115-41.
- Hayami, Y. et Ruttan, V. W., *Agricultural Development: An International Perspective*, Baltimore : John Hopkins University Press, 1985.
- Heller, N. E. et Zavaleta, E. S., « Biodiversity Management in the Face of Climate Change: A Review of 22 Years of Recommendations », *Biological Conservation*, 142 (1), 2009, p. 14-32.
- Hendriksen, G., Ruzibuka, R. et Rutagambwa, T., *Capacity Building for Science, Technology and Innovation for Sustainable Development and Poverty Reduction*, Washington, DC : Banque mondiale, 2007.
- Hicks, J. R., *The Theory of Wages*, Londres : Macmillan, 1932.
- Hoekman, B. M., Maskus, K. E. et Saggi, K., « Transfer of Technology to Developing Countries: Unilateral and Multilateral Policy Options », *Document de travail de recherche en matière de politique* 3332, Banque mondiale, Washington, DC, 2004.
- Hulse, J. H., *Sustainable Development at Risk: Ignoring the Past*, Ottawa : Foundation Books/IDRC, 2007.
- Huq, S., Reid, H. et Murray, L., « Mainstreaming Adaptation to Climate Change in Least Developed Countries », *Document de travail 1 : Country by Country Vulnerability to Climate Change*, International Institute for Environment and Development, Londres, 2003.
- ICTSD (International Centre for Trade and Sustainable Development), « Climate Change, Technology Transfer and Intellectual Property Rights », Document présenté au séminaire Trade and Climate Change, Copenhague, 2008.
- FMI (Fonds monétaire international), *Fuel and Food Price Subsidies: Issues and Reform Options*, Washington, DC : FMI, 2008.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), *Special Report: Methodological and Technological Issues in Technology Transfer: Summary for Policymakers*, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2000.
- IRI (International Research Institute for Climate and Society), « A Gap Analysis for the Implementation of the Global Climate Observing System Programme in Africa », *Rapport technique IRI-TR/06/1*, IRI, Palisades, NY, 2006.

- Jaffe, A., Newell, R. G. et Stavins, R. N., « Technological Change and the Environment », in *Handbook of Environmental Economics*, vol. 1, éd. K. G. Maler et J. R. Vincent, Amsterdam : Elsevier, 2003.
- Jaruzelski, B., Dehoff, K. et Bordia, R., *Smart Spenders: The Global Innovation 1000*, McLean, VA : Booz Allen Hamilton, 2006.
- Juma, C., *Reinventing African Economies: Technological Innovation and the Sustainability Transition: 6th John Pesek Colloquium on Sustainable Agriculture*, Ames, IA : Iowa State University, 2006.
- Juma, C., « Agricultural Innovation and Economic Growth in Africa: Renewing International Cooperation », *International Journal of Technology and Globalisation*, 4 (3), 2008, p. 256-75.
- Justus, D. et Philibert, C., *International Energy Technology Collaboration and Climate Change Mitigation*, Paris : OCDE/AIE, 2005.
- Kiang, R., *Malaria Modeling and Surveillance Verification and Validation Report, Part 1: Assessing Malaria Risks in Thailand Provinces Using Meteorological and Environmental Parameters*, Greenbelt, MD : NASA Goddard Space Flight Center, 2006.
- Koefoed, M. et Buckley, C., « Clean Technology Transfer: A Case Study from the South African Metal Finishing Industry 2000–2005 », *Journal of Cleaner Production*, 16S1 : S78–S84, 2008.
- Leadbeater, C., Meadway, J., Harris, M., Crowley, T., Mahroum, S. et Poirson, B., *Making Innovation Flourish*, Birmingham, Royaume-Uni : National Endowment for Science, Technology, and the Arts, 2008.
- Lewis, J. I., « Technology Acquisition and Innovation in the Developing World: Wind Turbine Development in China and India », *Studies in Comparative International Development*, 42, 2007, p. 208-232.
- Lundvall, B. A., *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Londres : Pinter, éd. 1992.
- Lundvall, B. A., « National Innovation-Systems: Analytical Concept and Development Tool », *Industry and Innovation*, 14 (1), 2007, p. 95-119.
- MacCracken, M., « Beyond Mitigation: Potential Options for Counter-Balancing the Climatic and Environmental Consequences of the Rising Concentrations of Greenhouse Gases », *Document de travail sur la recherche en matière de politique*, série 4938, Banque mondiale, Washington, DC, 2009.
- Maini, C., « Development of a Globally Competitive Electric Vehicle In India », *Journal of the Indian Institute of Science*, 85, 2005, p. 83-95.
- Maskus, K. E., « Encouraging International Technology Transfer », *Project on Intellectual Property Rights and Sustainable Development 7*, Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement et Centre international pour le commerce et le développement durable, Chavanod, France, 2004.
- Matuschke, I. et Qaim, M., « Seed Market Privatisation and Farmers' Access to Crop Technologies: The Case of Hybrid Pearl Millet Adoption in India », *Journal of Agricultural Economics*, 59 (3), 2008, p. 498-515.
- McKinsey Global Institute, *Leapfrogging to Higher Productivity in China*, McKinsey & Company, 2007.
- Metcalfe, S. et Ramlogan, R., « Innovation Systems and the Competitive Process in Developing Economies », *Quarterly Review of Economics and Finance*, 48 (2), 2008, p. 433-46.
- Milford, L., Duchter, D. et Barker, T., *How Distributed and Open Innovation Could Accelerate Technology Development and Deployment*, Montpelier, VT : Clean Energy Group, 2008.
- Nelson, R. R., « The Simple Economics of Basic Scientific Research », *Journal of Political Economy*, 67, 1959, p. 297-306.
- Nelson, R. R., *National Innovation Systems*, New York : Oxford University Press, 1996.
- Nemet, G. et Kammen, D. M., « U.S. Energy Research and Development: Declining Investment, Increasing Need, and the Feasibility of Expansion », *Energy Policy*, 35, 2007, p. 746-55.
- Newell, R. G., Jaffe, A. B. et Stavins, R. N., « The Induced Innovation Hypothesis and Energy-saving Technological Change », *Quarterly Journal of Economics*, 114, 1999, p. 941-75.
- Newell, R. G. et Wilson, N. E., « Technology Prizes for Climate Change Mitigation », *Document de discussion 05-33*, Resources for the Future, Washington, DC, 2005.
- OCDE (Organisation pour la coopération et le développement économiques), *National Innovation Systems*, Paris : OCDE, 1997.
- OCDE, *Compendium on Patent Statistics 2008*, Paris : OCDE, 2008.
- Panel d'étude indépendant du CGIAR, *Bringing Together the Best of Science and the Best of Development: Independent Review of the CGIAR System: Report to the Executive Council*, Washington, DC, Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, 2008.
- PCAST (President's Committee of Advisors on Science and Technology), *Powerful Partnerships: The Federal Role in International Cooperation on Energy Innovation*, Washington, DC : PCAST, 1999.
- Philibert, C., *International Energy Technology Collaboration and Climate Change Mitigation*, Paris : Organisation pour la coopération et le développement économiques et Agence internationale de l'énergie, 2004.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), *Global Trends in Sustainable Energy Investments*, Paris : Initiative de financement de l'énergie durable du PNUE, 2008a.
- PNUE, *Reforming Energy Subsidies: Opportunities to Contribute to the Climate Change Agenda*, Nairobi : Division de la technologie, de l'industrie et de l'économie du PNUE, 2008b.
- Popp, D., « Induced Innovation and Energy Prices », *American Economic Review*, 92 (1), 2002, p. 160-80.
- Popp, D., « R&D Subsidies and Climate Policy: Is There a Free Lunch? », *Climatic Change*, 77, 2006, p. 311-41.
- Ramanathan, N., Rehman, I. H. et Ramanathan, V., « Project Surya: Mitigation of Global and Regional Climate Change: Buying the Planet Time by Reducing Black Carbon, Methane and Ozone », Note de fond pour WDR 2010, 2009.
- Ramanathan, V. et Carmichael, G., « Global and Regional Climate Changes Due to Black Carbon », *Nature Geoscience*, 1, 2008, p. 221-27.
- Robins, N., Clover, R. et Singh, C., *A Climate for Recovery: The Colour of Stimulus Goes Green*, Londres, Royaume-Uni : HSBC, 2009.
- Rogers, D., « Environmental Information Services and Development », Note de fond pour WDR 2010, 2009.
- Ruttan, V. W., « Induced Innovation, Evolutionary Theory and Path Dependence: Sources of Technical Change », *Economic Journal*, 107 (444), 1997, p. 1520-29.
- Salter, A. J. et Martin, B. R., « The Economic Benefits of Publicly Funded Basic Research: A Critical Review », *Research Policy*, 30 (3), 2001, p. 509-32.

Scarpetta, S. et Tressel, T., « Boosting Productivity Via Innovation and Adoption of New Technologies: Any Role for Labor Market Institutions? », *Document de travail pour la recherche en matière de politique* 3273, Banque mondiale, Washington, DC, 2004.

Schneider, S. H. et Goulder, L. H., « Achieving Low-Cost Emissions Targets », *Nature*, 389 (6646), 1997, p. 13-14.

SEG (Scientific Expert Group on Climate Change), *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*, Washington, DC : Sigma Xi et United Nations Foundation, 2007.

Shindell, D. et Faluvegi, G., « Climate Response to Regional Radiative Forcing during the Twentieth Century », *Nature Geoscience*, 2, 2009, p. 294-300.

Smith, K. R., Rogers, J. et Cowlin, S. C., « Household Fuels and Ill-Health in Developing Countries: What Improvements Can be Brought by LP Gas? », Document présenté au 18^e World LP Gas Forum, du 14 au 16 sept., Shanghai, 2005.

Steenblik, R., *Biofuels: At What Cost? Government Support for Ethanol and Biodiesel in Selected OECD Countries*, Genève : International Institute for Sustainable Development, Global Subsidies Initiative, éd. 2007.

Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2007.

Taylor, M. R., Rubin, E. S. et Hounshell, D. A., « Control of SO₂ Emissions from Power Plants: A Case of Induced Technological Innovation in the U.S. », *Technological Forecasting and Social Change*, 72 (6), 2005, p. 697-718.

Tidd, J., *Innovation Models*, Londres : Imperial College London, 2006.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development), *World Investment Report 2005: Transnational Corporations and the Internationalization of R&D*, New York : Nations Unies, 2005.

Watkins, A. et Ehst, M., *Science, Technology and Innovation Capacity Building for Sustainable Growth and Poverty Reduction*, Washington, DC : Banque mondiale, éd. 2008.

Weinert, J., Ma, C. et Cherry, C., « The Transition to Electric Bikes in China: History and Key Reasons for Rapid Growth », *Transportation*, 34 (3), 2007, p. 301-18.

Westermeyer, W., « Observing the Climate for Development », Note de fond pour WDR 2010, 2009.



Surmonter les inerties dans les comportements et les institutions

Il existe déjà de nombreux mécanismes d'adaptation et d'atténuation. Droits fonciers garantis, technologies à haut rendement énergétique, écotaxes fondées sur le marché et permis négociables – tous ces mécanismes ont été mis à l'essai et étudiés depuis des décennies. Mais leur mise en œuvre n'en reste pas moins difficile. Leur succès dépend non seulement de l'existence de nouveaux financements et de nouvelles technologies mais aussi de facteurs sociaux, économiques et politiques complexes et contextuels que l'on regroupe généralement sous le terme institutions : les règles formelles et informelles influençant la conception, la mise en œuvre et les résultats des politiques¹.

Les valeurs, normes et dispositifs organisationnels peuvent entraver la réorientation de l'action publique. Les expériences façonnent les actions d'aujourd'hui et de demain. Les modes de comportement indi-

viduel et organisationnel changent difficilement, même face à de nouveaux défis. Et les traditions politiques limitent les choix en matière d'action publique. Citons quelques exemples. La majorité des pays continuent de concevoir leurs actions et institutions de réglementation de sorte à garantir l'approvisionnement énergétique plutôt qu'à gérer la demande. L'instauration de taxes sur la pollution dans des économies où elle n'est pas considérée comme un mal public se heurtera à la résistance des décideurs et du public. Et les intérêts économiques peuvent entraver le déploiement de technologies à haut rendement énergétique².

Ces exemples illustrent une autre dimension de l'urgence de s'attaquer au changement climatique. Outre l'inertie du climat, de la technologie et du capital social, l'action publique doit surmonter l'inertie institutionnelle. Les institutions ont une tendance à la rigidité ; une fois en place et acceptées, elles peuvent limiter la réorientation de l'action publique et les choix futurs³.

L'inertie institutionnelle a trois incidences en matière de politique de développement intelligente sur le plan climatique. Premièrement, la réorientation des institutions doit être une priorité. Le succès passera nécessairement par la réforme du cadre institutionnel appuyant les interventions. Deuxièmement, la réforme institutionnelle porte ses fruits. La prise en compte des déterminants institutionnels de la politique climatique peut assurer l'efficacité et la pérennité des interventions, maximiser l'impact des financements et

Idée force

Pour obtenir des résultats dans le cadre des efforts déployés face au défi climatique, il faudra faire plus que mobiliser des financements et des technologies au niveau international ; il faudra aussi s'attaquer aux obstacles psychologiques, institutionnels et politiques à l'action climatique. Ces obstacles découlent de la manière dont le public perçoit et comprend le problème climatique, la manière dont les administrations fonctionnent et des intérêts qui définissent l'action publique. Pour réorienter l'action publique, il sera nécessaire de modifier les incitations politiques, voire même les responsabilités institutionnelles. Il faudra également déployer un effort résolu d'explication des politiques climatiques, et s'appuyer sur les normes sociales et les comportements pour que chacun d'entre nous passe du stade des préoccupations à celui de la compréhension et du stade de la compréhension à celui de l'action – en commençant à notre propre niveau.

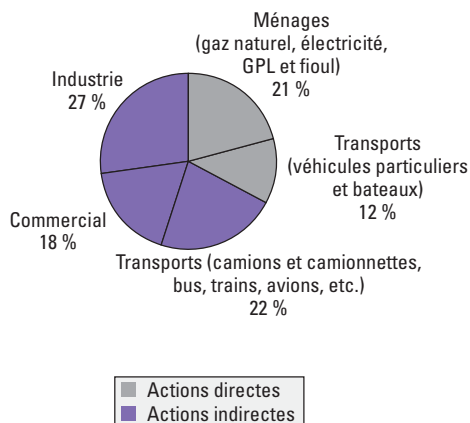
de la technologie et apporter d'autres avantages en matière de développement. Troisièmement, la transformation des institutions est faisable. L'intégration accrue des questions de parité hommes-femmes, la reconnaissance des droits des peuples autochtones, la réforme des droits fonciers et la mise en place d'incitations peuvent exiger d'importants efforts mais ne sont pas impossibles. Bon nombre de ces changements peuvent être réalisés sans avancée technologique ni financement supplémentaire. Mais surtout, un grand nombre de ces interventions relève de la politique nationale, voire locale ; un accord mondial sur le climat n'est par exemple pas nécessaire pour améliorer la liberté de la presse ou mieux faire entendre la voix de la société civile⁴.

Le présent chapitre examine les déterminants comportementaux, organisationnels et politiques de l'inertie institutionnelle qui entravent le développement intelligent sur le plan climatique. Il montre comment ces forces influencent la mise en œuvre de nouvelles politiques et entravent leur succès dans les pays développés et en développement. Et il fait valoir que l'inertie ne pourra être vaincue qu'en réexaminant la portée et la qualité du rôle des gouvernements. Commençons par examiner les comportements individuels.

Tirer parti des changements de comportements individuels

Le succès des politiques de développement intelligent sur le plan climatique passe impérativement par la compréhension du comportement humain. Une multitude d'actes privés de consommation sont à l'origine du changement climatique. En tant que consommateurs, les particuliers représentent un réservoir de capacité d'atténuation. Une grande partie des émissions des pays développés est directement liée aux décisions des particuliers, notamment en matière de transport, de chauffage et d'alimentation. Aux États-Unis, les ménages

Figure 8.1 Les actions directes des consommateurs américains produisent jusqu'à un tiers des émissions totales de CO₂ de leur pays



Sources : EIA 2009 ; EPA 2009.
Remarque : GPL = gaz de pétrole liquéfié

produisent environ 33 % des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) du pays, soit plus que l'industrie nationale et que tout autre pays à l'exception de la Chine (figures 8.1 et 8.2)⁵. L'adoption généralisée des mesures existantes d'amélioration de l'utilisation rationnelle de l'énergie par les ménages et du rendement énergétique des véhicules à moteur pourrait entraîner des économies proches de 30 %, soit 10 % de la consommation totale des États-Unis⁶. Deuxièmement, les particuliers sont à l'origine des grands changements intervenant dans les organisations et les systèmes politiques. Dans les pays démocratiques en particulier, une grande partie de l'action gouvernementale est le fruit de pressions citoyennes et électorales. Troisièmement, lors de la conception et de la mise en œuvre d'actions publiques, les décideurs suivent les mêmes processus mentaux que les particuliers.

Le débat sur la modification des comportements individuels porte sur les mécanismes de marché. Une meilleure tarification de l'énergie et des ressources peu abondantes peut décourager une consommation à forte intensité de carbone et encourager les particuliers à préserver des habitats menacés et à mieux gérer les écosystèmes. Mais la consommation des particuliers et des groupes n'est pas uniquement régie par les prix. De nombreuses technologies à haut rendement énergétique et efficaces sur le plan des coûts existent depuis des années. Des investissements « sans regrets », tels que l'amélioration de l'isolation des bâtiments, la réparation des fuites d'eau et la limitation de la construction dans les zones sujettes aux inondations, offrent des avantages allant bien au-delà de l'atténuation et de l'adaptation. Alors, pourquoi n'ont-ils pas été adoptés ? Parce que préoccupation n'est pas synonyme de compréhension, de même que compréhension n'est pas synonyme d'action.

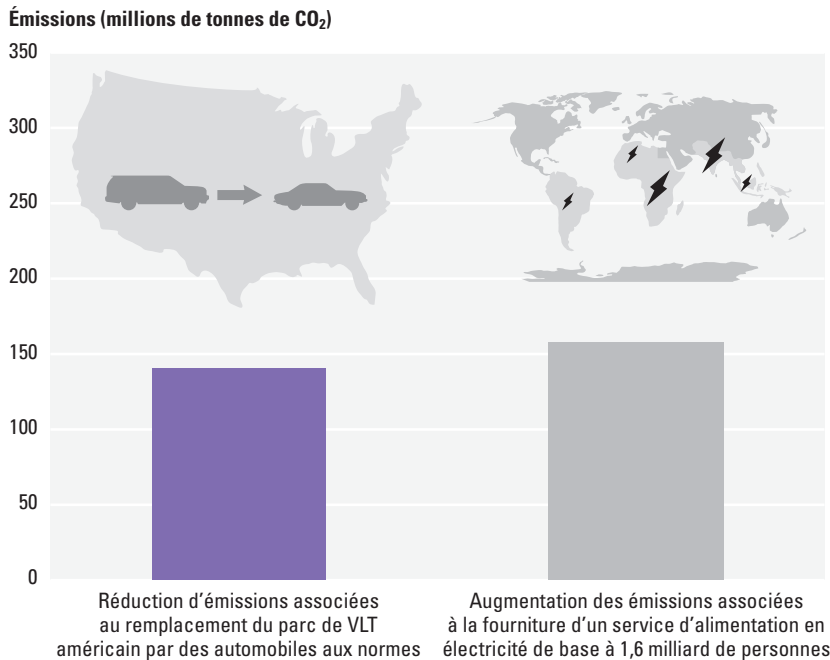
Préoccupation n'est pas synonyme de compréhension

La prise de conscience du changement climatique a augmenté au cours des dix dernières années sans toutefois entraîner de réaction généralisée chez les particuliers⁷. En fait, les déplacements aériens et automobiles, les vacances à l'étranger et l'utilisation des appareils ménagers ne cessent d'augmenter à l'échelle mondiale⁸.

Comment peut-on expliquer un tel décalage entre la perception et l'action ? Le fait d'être préoccupé par la question du changement climatique ne signifie pas nécessairement que l'on comprenne les déterminants et la dynamique qui en sont responsables ni les interventions nécessaires. Les sondages montrent que le public admet ne pas comprendre clairement les causes du changement climatique ni les solutions possibles⁹. Cette « lacune verte » au niveau des attitudes du public tient en partie à la façon dont la science du climat est communiquée et à notre (mauvaise) compréhension de la dynamique climatique (encadré 8.1)¹⁰.

Les modèles classiques des déficits informationnels supposent qu'un public mieux éduqué agit différemment¹¹.

Figure 8.2 De petits ajustements locaux aux grandes conséquences mondiales : remplacer les VLT par des voitures particulières consommant peu de carburant ne serait-ce qu'aux États-Unis compenserait pratiquement les émissions résultant de l'alimentation en électricité de 1,6 milliard de personnes de plus



Source : Calculs de l'équipe du Rapport sur le développement dans le monde sur la base des chiffres de BTS 2008.

Note : Les estimations sont basées sur les hypothèses suivantes : les États-Unis comptent 40 millions de VLT (véhicules loisir travail) qui couvrent au total 480 milliards de miles sur la base d'une distance parcourue moyenne de 12 000 par véhicule et par an. Si l'on considère que la consommation de carburant moyenne d'un VLT est de 18 miles au gallon, le parc de VLT consomme 27 milliards de gallons d'essence par an en émettant 2 421 grammes de carbone par gallon. Le remplacement des VLT par des voitures économiques en carburant qui respectent la norme moyenne de consommation de carburant des nouvelles voitures particulières vendues dans l'Union européenne (45 miles au gallon ; voir ICCT 2007) se traduit par une réduction des émissions de 142 millions de tonnes de CO₂ (39 millions de tonnes de carbone) par an. La consommation d'électricité des ménages pauvres des pays en développement est, selon les estimations, de 170 kilowattheures par personne et par an et, si l'on pose que l'électricité est générée avec une intensité (moyenne mondiale) de 160 grammes de carbone au kilowattheure, on obtient l'équivalent de 160 millions de tonnes de CO₂ (44 millions de tonnes de carbone). La taille du symbole de l'électricité qui apparaît sur la carte du monde indique le nombre de personnes qui n'ont pas l'électricité.

Le public est aujourd'hui exposé à une grande quantité d'informations sur les causes, la dynamique et les effets du changement climatique. Ces informations ont de toute évidence renforcé ses préoccupations sans toutefois inciter à l'action¹². Pourquoi ? Parce que l'information peut donner un faux sentiment de « puissance » qui se transforme en impuissance ambivalente en présence de messages plus « réalistes ». Le fait d'attirer l'attention sur l'urgence de la situation en soulignant la nature et l'ampleur inédites des problèmes peut entraîner la paralysie¹³. De même, le fait de

souligner les responsabilités partagées en matière d'atténuation et d'adaptation rappelle que la solution ne dépend pas d'un seul intervenant et entraîne un sentiment de vulnérabilité et d'impuissance¹⁴. Ceci peut expliquer pourquoi les habitants des pays développés, où les informations sur le changement climatique sont plus facilement accessibles, sont moins optimistes quant à la possibilité de parvenir à une solution (figure 8.3).

Pour se transformer en action, la sensibilisation doit reposer sur des informations claires provenant de sources

ENCADRÉ 8.1 La mauvaise communication du besoin d'agir dans le domaine climatique

La communication sur le changement climatique peut malheureusement avoir un effet contreproductif et entraîner une certaine paralysie. Une analyse linguistique de la couverture médiatique et de la communication des groupes écologiques sur le changement climatique a montré que plus les auditeurs et les lecteurs sont bombardés de mots ou d'images sur les effets dévastateurs et quasi apocalyptiques du changement climatique et plus ils risquent de se démobiliser. La présentation du changement climatique comme un phénomène météorologique inquiétant peut avoir des effets pernicieux

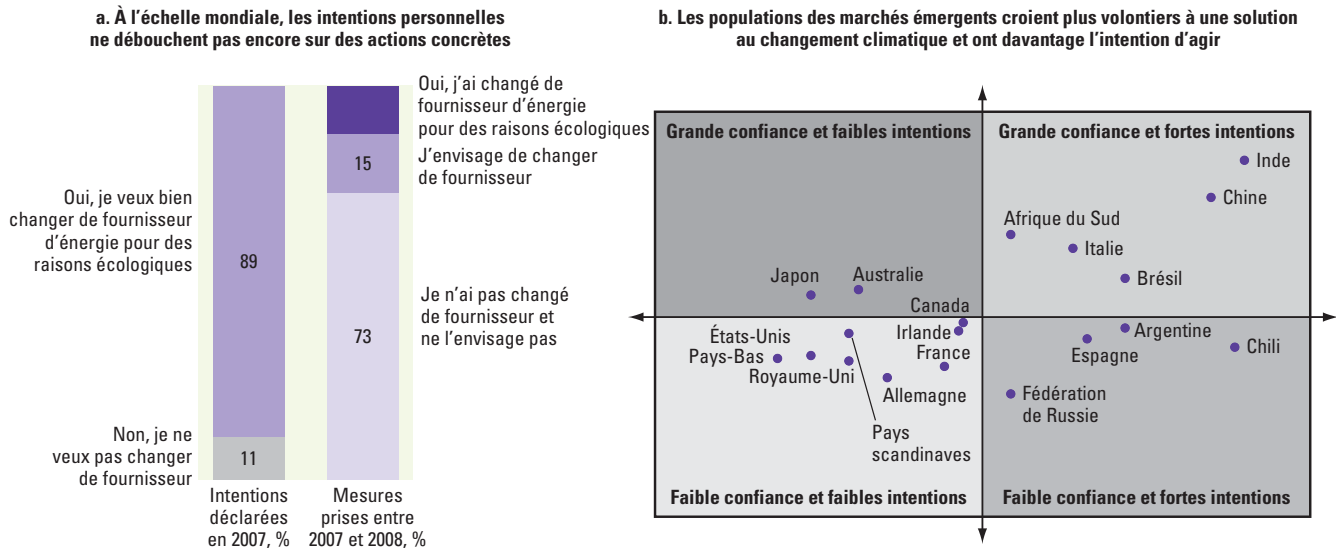
car l'être humain a tendance à penser que les conditions météorologiques ne peuvent être contrôlées, évitées ni modifiées par lui. Tout juste peut-on s'y préparer, s'y adapter ou s'y soustraire. Et l'accent mis sur des horizons très lointains et l'ampleur du changement climatique encourage les intéressés à penser qu'ils ne connaîtront pas ça de leur vivant ou qu'il n'y a rien à faire.

Le fait d'attirer l'attention sur l'immensité du problème climatique tout en disant aux membres de la population qu'ils peuvent le résoudre par de simples gestes (en changeant une ampoule par exemple) crée

un décalage qui compromet la crédibilité des messages et incite les gens à croire qu'ils n'y peuvent rien. Une émission sur le réchauffement planétaire, qui présente des preuves scientifiques, expose les conséquences graves de l'inaction et demande à ce que des mesures soient prises sans tarder, peut laisser penser que toute action préventive est dénuée de sens.

Source : Retallack, S., www.opendemocracy.net/globalization-climate_change_debate/ankelohe_3550.jsp (consulté le 17 juillet 2008).

Figure 8.3 Le désir des particuliers de lutter contre le changement climatique varie selon les pays et ne se traduit pas toujours par des mesures concrètes



Source : Accenture 2009.

Note : L'enquête sur le changement climatique réalisée par Accenture en 2009 a porté sur un échantillon de 10 733 personnes vivant dans 22 pays développés et émergents. Cet échantillon était représentatif de l'ensemble de la population des pays développés et de la population urbaine des pays en développement. Diagramme a : il a été demandé aux personnes interrogées s'ils seraient prêts à changer de fournisseur d'énergie en vue d'obtenir des services contribuant à la réduction des émissions de carbone. Les intentions ne se sont pas concrétisées, la majorité des personnes interrogées ne changeant pas de fournisseur. Diagramme b : Les pays ont été classés selon deux critères, la confiance et l'intention, sur la base de leurs réponses au questionnaire. La confiance mesure l'optimisme avec lequel la personne interrogée considère la capacité de la population, des politiciens et des fournisseurs d'énergie de trouver une solution. Les personnes interrogées dans les pays émergents sont généralement plus optimistes quant à la capacité des sociétés humaines à prendre les mesures nécessaires pour résoudre le problème du changement climatique mondial.

fiables. La manière dont la science du changement climatique est communiquée au public peut compliquer les choses. Le débat scientifique repose sur la vérification et le recoupement des théories et des conclusions. La façon de présenter l'actualité peut aller d'un extrême à l'autre et entretenir la confusion du public, qui risque alors de percevoir le débat non pas comme le fruit des progrès scientifiques mais comme la prolifération d'opinions contradictoires¹⁵. Qui plus est, les médias, soucieux de présenter les choses avec impartialité, ont accordé une couverture disproportionnée aux climato-sceptiques, sans véritables compétences ni statut scientifiques¹⁶.

Les médias, par goût du sensationnel, ont tendance à éviter les formulations prudentes utilisées par la communauté scientifique pour exprimer l'incertitude. Les lecteurs sont alors confrontés à des messages dénués de prudence scientifique et contenant de vigoureux appels à l'action, qui peuvent ensuite être réfutés par d'autres déclarations tout aussi énergiquement formulées, ce qui a pour effet de nuire à la crédibilité de la source d'information. Outre le fait de déconcerter le public (et les décideurs) quant aux causes, impacts et solutions potentielles, différents types de présentation peuvent susciter un sentiment de rejet, de culpabilité, voire de dénigrement, lorsque le problème de la consommation est présenté comme un problème de consommateurs¹⁷. Ce type de situation peut entraîner un rejet plutôt qu'une volonté de réaction.

La manière dont l'esprit appréhende le problème est un autre obstacle entravant la transition entre la préoccupation et la compréhension. La dynamique du changement climatique teste nos capacités mentales de diverses manières¹⁸. La recherche psychologique montre que les gens ont du mal à appréhender des problèmes ayant de multiples causes¹⁹. Simplifier les problèmes en leur associant des causes uniques entraîne la recherche de remèdes uniques et de solutions technologiques miracles (souvent inexistantes). L'inertie de nos réactions peut être liée à une compréhension limitée des relations entre les stocks et les flux qui caractérisent la concentration, l'élimination et la stabilisation des gaz à effet de serre. Le fait que les réductions des émissions les plus spectaculaires et les plus rapides n'éviteront pas la poursuite du réchauffement planétaire, ou n'élimineront pas le besoin d'adaptation à court et moyen termes, est une notion que nous avons du mal à appréhender et à comprendre sans explication rationnelle (encadré 8.2)²⁰.

Compréhension n'est pas synonyme d'action

Nos connaissances sont influencées par nos systèmes de valeurs, façonnés par les facteurs psychologiques, culturels et économiques qui conditionnent notre action ou inaction. Là encore, le problème n'est pas que nous sommes irrationnels mais plutôt que nous devons mieux comprendre comment nous prenons des décisions. Notre évolution en

ENCADRÉ 8.2 *La mauvaise compréhension de la dynamique du changement climatique encourage l'apathie*

Le soutien aux mesures de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre est entravé par la compréhension limitée de la dynamique du changement climatique. Les expériences montrent que la majorité de la population comprend mal la nature du problème : elle pense que la stabilisation des émissions à des niveaux proches des niveaux actuels stabiliserait les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et enrayerait le changement climatique. Mais le flux des

émissions s'apparente plus à celui de l'eau remplissant une baignoire : tant que le flux entrant est supérieur au flux sortant, le niveau de l'eau continue de monter. Les concentrations de gaz à effet de serre continueront d'augmenter tant que les émissions dépasseront les quantités pouvant être absorbées par les systèmes terrestres et aquatiques. Même chez ceux qui considèrent le changement climatique comme une priorité, la mauvaise compréhension du

processus de stocks et de flux favorise l'attentisme et limite la pression du public et la volonté des politiques de mettre en place des politiques actives pour stabiliser le climat. Ces fausses impressions peuvent être dissipées grâce à des stratégies de communication utilisant des analogies, comme celle de la baignoire.

Sources : Sternman et Sweeney 2007 ; Moxnes et Saisel 2009.

tant qu'espèce a façonné nos processus cérébraux. Nous réagissons particulièrement aux menaces qui peuvent avoir un visage humain ; qui sont imprévues, inquiétantes et immédiates ; qui touchent directement à la santé humaine ; qui remettent en question notre ordre moral, en provoquant des réactions viscérales ; ou qui évoquent de récentes expériences personnelles²¹. La lenteur du changement climatique alliée au caractère différé, intangible et statistique des risques associés ne nous émeut pas (encadré 8.3).

L'économie comportementale montre que notre instinct naturel d'adaptation est réprimé lorsque nous devons prendre des décisions en situation d'incertitude²². Nous avons tendance à sous-estimer les probabilités cumulées (la somme des probabilités qu'un événement se produise au cours d'un intervalle de temps donné), ce qui explique que l'on continue de bâtir dans des zones sujettes aux incendies, aux inondations et aux tremblements de terre. Les gens privilégient de loin le statu quo et préfèrent ne le modifier que très progressivement. Ils sont

ENCADRÉ 8.3 *Comment notre perception des risques peut contrecarrer les politiques : la gestion des risques d'inondation*

La propension de l'être humain à prévenir un risque est essentiellement liée à la façon dont il perçoit la gravité et la vraisemblance des impacts associés. La perception des probabilités et les méthodes que le public a tendance à utiliser pour les estimer peuvent être trompeuses. Il évalue par exemple la probabilité qu'un événement se produise en un lieu donné en fonction de la similitude entre ce lieu et les endroits où de tels événements se produisent généralement^a. L'existence de souvenirs récents et frappants d'un événement incite à surestimer sa probabilité. Il a été observé que l'être humain a tendance à surestimer la probabilité d'événements peu probables et à sous-estimer la probabilité d'événements fort probables. Les gens ont par exemple certainement plus facilement peur dans un avion que dans une voiture, bien que le risque de mourir dans un accident de voiture soit nettement plus élevé. De même, des catastrophes naturelles rares telles que les tsunamis inquiètent plus que des événements plus

fréquents tels que les ondes de tempête^b. Ces modes de comportement ont été observés chez les agriculteurs et dirigeants du Mozambique suite aux inondations de 2000 et pendant le programme de réinstallation ultérieurement mis en œuvre par les autorités. Les agriculteurs étaient plus favorables (que les dirigeants) à un retour à la situation antérieure : ces derniers s'efforcent de faire la part entre les mesures d'adaptation aux facteurs climatiques et les risques de résultats négatifs. La décision de s'installer dans une zone moins vulnérable, sur des terrains plus élevés par rapport au niveau de la mer, présente le risque de perdre son moyen d'existence ou de s'éloigner de sa communauté. La décision de cultiver des espèces résistantes à la sécheresse comporte le risque d'un rendement moindre en cas de précipitations abondantes. Les agriculteurs désirant éviter d'être personnellement responsables de résultats négatifs éviteront de faire de nouveaux choix. À l'inverse, les dirigeants peuvent

s'attribuer le mérite d'avoir évité des conséquences négatives mais uniquement s'ils prennent des mesures visibles, par exemple en aidant les agriculteurs à subsister en cas de réinstallation. Les différentes parties concernées perçoivent les probabilités de manière différente. Les dirigeants de Maputo ont tendance à uniquement associer la plaine alluviale du Limpopo au risque d'inondation. Pour ceux qui y vivent, en revanche, la vie dans la plaine est définie par de nombreux facteurs en sus des risques climatiques. Comparés aux agriculteurs, les dirigeants ont tendance à surestimer les risques climatiques. D'importantes différences dans la perception des risques peuvent entraver l'élaboration et la mise en œuvre des actions publiques, à moins que l'analyse et la communication des risques ne soient dûment prises en compte.

Sources : Patt et Schröter 2008.
a. Tversky et Kahneman 1974.
b. Kahneman et Tversky 1979.

perplexes lorsque les succès sont difficilement mesurables, comme dans le cas de la préparation aux catastrophes naturelles, où il est difficile de connaître les conséquences exactes de l'inaction. Nous sommes des « décideurs myopes », qui accordent un poids très faible aux événements futurs et donnent une plus grande priorité aux problèmes plus immédiats dans le temps et dans l'espace. Nous sommes, par exemple, plus facilement mobilisés par des problèmes environnementaux visibles (pollution atmosphérique urbaine) que d'autres moins visibles (extinction d'espèces). Nous accordons moins d'importance au changement climatique qu'à d'autres problèmes environnementaux qui semblent nous toucher de plus près (figure 8.4)²³.

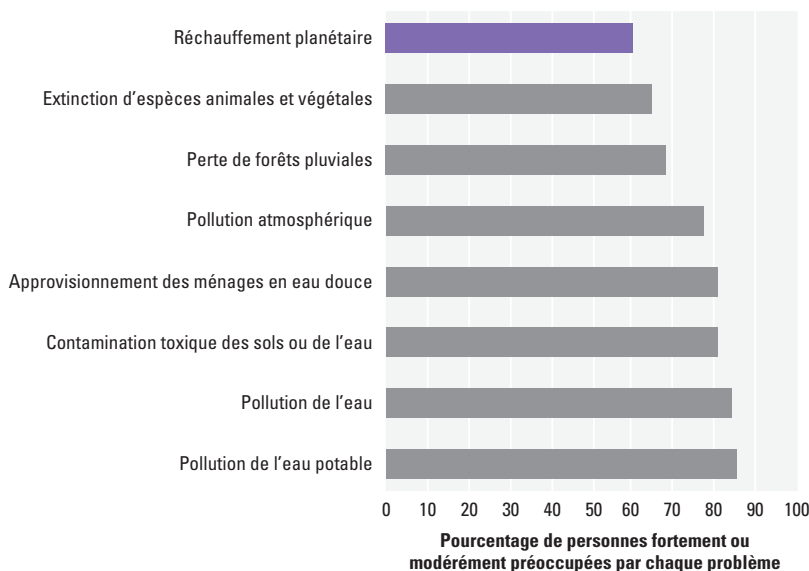
Même si les êtres humains étaient totalement rationnels, ce qu'ils savent ne les pousserait pas nécessairement à l'action. Leur capacité limitée à faire front simultanément à plusieurs préoccupations pourrait les empêcher de réagir à des informations existantes car ils privilégient leurs besoins essentiels comme la sécurité, l'habitat, etc.²⁴. Ils évaluent également les coûts marchands et non marchands de leurs décisions. Les coûts non marchands associés à des décisions prises en réaction à des informations remettant en question leurs systèmes de valeurs (tels que des appels à des migrations et réinstallations ou à la réduction des modes de consommation) peuvent être élevés. Au demeurant, le fait d'interpréter ou de concilier de nouvelles informations est en lui-même coûteux. Les coûts de transaction peuvent être élevés, tant pour un ménage devant décider s'il doit rebâtir dans une zone sujette aux inondations que pour un fonctionnaire local devant élaborer et faire respecter un code du bâtiment dans des plaines côtières. Qui plus est, l'atténuation

et, bien souvent, l'adaptation, se présentent comme des tragédies du patrimoine commun nécessitant une action collective. Les individus rationnels et individualistes se heurtent à des obstacles structurels qui les découragent de coopérer à la résolution de ces problèmes²⁵. Pour coopérer dans de telles conditions, les retombées doivent en effet être clairement définies, ce qui n'est manifestement pas le cas avec les impacts du changement climatique et les ripostes associées²⁶.

La compréhension des obstacles à l'évolution des comportements nécessite également d'aller au-delà des explications psychologiques fondées sur l'individu en tant qu'unité d'analyse et de tenir compte de la manière dont les facteurs sociaux influencent nos perceptions, décisions et actions. Nous avons naturellement tendance à écarter et rejeter des informations allant à l'encontre de nos valeurs culturelles ou croyances idéologiques. Ces informations peuvent par exemple remettre en question des notions d'appartenance et d'identité ainsi que nos droits à la liberté et à la consommation. Les notions de besoins et les priorités qui en découlent sont des concepts sociaux et culturels²⁷. Ceci pourrait expliquer pourquoi la sensibilisation aux problèmes environnementaux augmente généralement avec la richesse, contrairement aux préoccupations liées au changement climatique (figure 8.5)²⁸. Les individus (et les nations) dont les revenus sont élevés (tout comme leurs émissions de dioxyde de carbone) peuvent faire abstraction du réchauffement planétaire afin d'éviter d'encourir les coûts potentiels de solutions associées à une baisse de leurs niveaux de consommation et à une modification de leur train de vie²⁹.

Les gens construisent et reconstruisent également l'information pour la rendre moins préoccupante, entraînant ainsi

Figure 8.4 Le changement climatique n'est pas encore une priorité



Source : Sondage Gallup, www.gallup.com/poll/106660/Little-Increase-Americans-Global-Warming-Worries.aspx (consulté le 6 mars 2009).

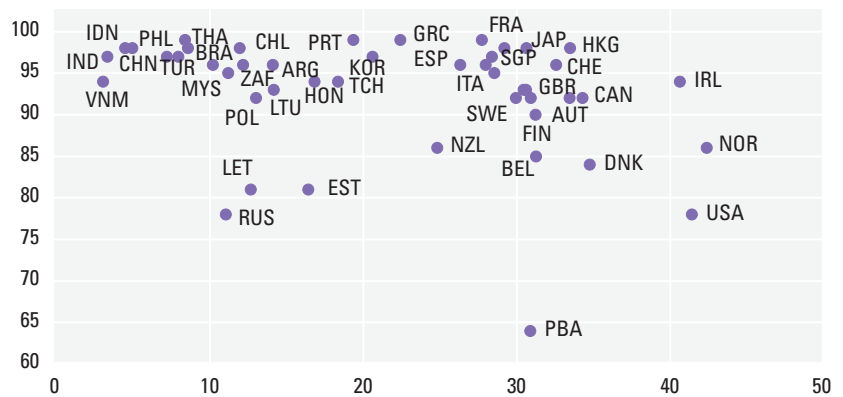
Note : La question suivante a été posée aux personnes interrogées : « Je vais vous lire une liste de problèmes environnementaux. Après chaque problème mentionné, veuillez me dire s'il vous préoccupe fortement, modérément, un peu ou pas du tout. » Les résultats ont été obtenus lors d'entretiens téléphoniques menés entre le 5 et le 9 mars 2009. L'échantillon était composé de 1 012 citoyens américains ayant au moins 18 ans.

Source : Sandvik 2008.

Note : La mesure dans laquelle le public est préoccupé par le réchauffement planétaire est représentée par le pourcentage des personnes interrogées ayant entendu parler du changement climatique ou ayant lu des articles à ce sujet qui estiment que le changement climatique est un problème grave. Les chiffres proviennent d'un sondage en ligne réalisé par ACNielsen en 2007 sur les attitudes des consommateurs face au réchauffement planétaire. Il a été demandé aux personnes interrogées, qui étaient réparties dans 46 pays, d'indiquer sur une échelle de 1 à 5 la gravité du réchauffement climatique.

Figure 8.5 Les craintes liées au changement climatique diminuent avec l'augmentation de la richesse

Pourcentage de personnes estimant que le changement climatique est un problème grave



la mise en place de stratégies de déni social qui façonnent la manière dont les sociétés et gouvernements interprètent le changement climatique et y répondent³⁰. L'évolution des descriptions du changement climatique en est un exemple. La quantification des émissions par pays plutôt que par habitant permet aux personnes vivant hors des grands pays émetteurs de minimiser leur responsabilité et de rationaliser leur immobilisme. Les vigoureux appels en faveur d'une riposte internationale ont tendance à minimiser le fait que des mesures nationales devront être prises quoi qu'il en soit. Et les incertitudes concernant la dynamique et les impacts du changement climatique peuvent être surestimées pour justifier l'inaction.

Ces formes de déni ne sont pas abstraites, ni même limitées aux politiques climatiques. Des mécanismes semblables interviennent à divers niveaux du processus décisionnel quotidien et leur prise en compte s'inscrit dans le cadre de la résolution d'importants obstacles au développement, tels que la réduction de la propagation du VIH/SIDA ou de l'incidence de maladies liées à l'eau et à l'assainissement. Plutôt qu'une aberration, le déni doit être considéré comme une stratégie d'ajustement déployée par les individus et les communautés confrontés à des événements ingérables et préoccupants. La résistance au changement n'est jamais simplement le fruit de l'ignorance ; elle découle des perceptions, besoins et désirs des individus, façonnés par leurs valeurs matérielles et culturelles.

Encourager l'évolution des comportements

Les décideurs doivent être conscients de ces obstacles et envisager les possibilités d'action dans ce contexte. Les trois domaines d'action concernés sont la communication, les mesures institutionnelles et les normes sociales.

De l'information à la communication. Dans l'état actuel des choses, l'information, l'éducation et la sensibilisation ne sont, au mieux, pas suffisantes pour inciter les gens à l'action et, au pire, contraires au but recherché. D'où le besoin de

modifier le mode de diffusion de l'information sur le changement climatique³¹. Premièrement, l'approche de communication sur le changement climatique, actuellement axée sur l'information, doit être réorientée vers le public. Les scientifiques et les médias doivent collaborer pour améliorer la pertinence de leurs messages. Deuxièmement, comme dans d'autres domaines d'action tels que la lutte contre le sida, cette réorientation devrait amener l'adoption d'une approche « commerciale » de la communication, selon laquelle les gens ne sont plus les destinataires passifs de l'information mais des agents actifs au niveau des causes et des solutions (encadré 8.4).

Des campagnes de communication bien planifiées et axées sur des individus considérés en tant que membres d'une communauté locale, et non pas comme des membres impuissants d'un groupe trop grand pour être gérable, peuvent donner à ces individus des moyens d'agir. Une telle approche peut contribuer à accroître la pertinence et l'urgence d'un phénomène mondial à un niveau personnel et à renforcer l'appropriation locale et individuelle des solutions. Pour éviter les équivoques et les retours de bâton, il est important que les entreprises et les administrations publiques évitent de tout « peindre en vert », c'est-à-dire de convenir publiquement de la réalité du changement climatique sans pour autant agir (encadré 8.5).

La compréhension approfondie par le public de problématiques fort complexes comme le changement climatique est-elle possible, voire nécessaire, pour élaborer des politiques efficaces ? Il s'agit là d'une question controversée. Mais la réponse est non ou, du moins, pas toujours. Un grand nombre des décisions prises au niveau des politiques reposent sur des détails techniques que le public ignore totalement. Peu nombreux sont ceux qui comprennent les rouages complexes des politiques commerciales influençant le prix des denrées alimentaires qu'ils achètent et consomment, ou produisent et vendent. Lorsque le soutien du public est nécessaire, il est souvent encouragé par d'autres moyens.

ENCADRÉ 8.4 *Les communautés contribuent pleinement à la réduction des risques de glissement de terrain dans les Caraïbes*

Le programme MoSSaiC, qui a pour objet d'améliorer la gestion des pentes dans les communautés des Caraïbes orientales, a mis à l'essai un nouveau mécanisme de réduction des risques de glissement de terrain dans les communautés vulnérables. Ce programme recense et met en œuvre des approches communautaires peu coûteuses en demandant aux résidents d'indiquer les zones semblant présenter des problèmes de drainage avant d'évaluer les possibilités de réduction des risques par la gestion des eaux de surface. Les activités mises en œuvre comprennent la gestion de toutes les eaux de surface (eaux recueillies par les toits, eaux grises et eaux de ruissellement), le

suivi des conditions d'écoulement des eaux souterraines peu profondes et la construction de systèmes de drainage peu onéreux. Toutes ces activités sont sous-traitées au sein de la communauté. Cet engagement communautaire de bout en bout encourage la participation à la planification, l'exécution et l'entretien de la gestion des eaux de surface sur les pentes à haut risque. Le programme est ainsi placé sous le contrôle de la communauté plutôt que d'être imposé par un organisme ou les pouvoirs publics. Ce programme a réduit les risques de glissement de terrain en sensibilisant la communauté et en lui offrant des emplois et une approche participative

a été adoptée pour le transposer dans d'autres communautés. Il montre que la modification des attitudes communautaires en matière d'atténuation des dangers peut améliorer leur perception des risques climatiques. Il a également permis de mettre en place une boucle de rétroaction entre les intrants et extrants du projet, puisque plus de 80 % des fonds sont dépensés dans les communautés, ce qui permet à ces dernières et aux pouvoirs publics d'établir un lien explicite entre la perception des risques, les intrants et des extrants tangibles.

Source : Anderson et Holcombe 2007.

Mais il serait faux de penser que l'information et la sensibilisation du public sont superflues. De récents travaux ont montré que l'information est essentielle pour obtenir le soutien du public concernant des mesures coûteuses. Les avantages liés à la diffusion d'informations plus fiables sur les décisions de consommation, par exemple grâce à l'étiquetage du carbone ou des compteurs intelligents, ne sont plus à démontrer. Une enquête réalisée aux États-Unis a

montré que l'un des principaux facteurs responsables de la négativité du public vis-à-vis des programmes de plafonnement des émissions et d'échange de droits d'émission n'est pas lié à leur coût mais plutôt au fait que leur efficacité est peu connue, ce qui érode la confiance du public³². De même, l'opposition aux écotaxes semble s'amenuiser dès que le public comprend pleinement qu'il ne s'agit pas uniquement de collecter des fonds mais de modifier les comportements³³.

ENCADRÉ 8.5 *La communication sur le changement climatique*

La manière de présenter une problématique, à savoir le cadre (mots, métaphores, anecdotes et images) utilisé pour transmettre l'information, conditionne l'action. Ce cadre se réfère à des visions du monde profondément ancrées, des hypothèses largement acceptées et des modèles culturels pour juger le message et pour l'accepter ou le rejeter. Si les faits n'entrent pas dans ce cadre, ce sont eux qui sont rejetés, pas le cadre. À partir de cela, on peut décider si une cause est mieux servie en relayant ou en déconstruisant le discours dominant, ou en présentant une problématique à l'aide de concepts, de mots et d'images différents pour évoquer une autre façon de penser et faciliter de nouveaux choix.

Une telle approche pourrait être appliquée à la communication sur le changement climatique sous diverses formes :

- En plaçant la problématique dans le contexte de valeurs plus élevées, telles que la responsabilité, la bonne intendance, la compétence, la vision et l'ingéniosité.
- En présentant les actions d'atténuation comme la résultante d'une nouvelle réflexion, de nouvelles technologies, d'une planification prospective, d'une démarche intelligente, clairvoyante, équilibrée, efficace et prudente.
- En simplifiant le modèle, l'analogie ou la métaphore pour aider le public à comprendre la dynamique du réchauffement planétaire ; présenter un

concept permettant de retenir l'attention et de comprendre les informations et mettre en place un raisonnement approprié (parler de « piège à chaleur » plutôt que d'« effet de serre »).

- En réorientant la communication pour souligner les causes humaines du problème et les solutions qui existent pour s'y attaquer, en suggérant que les êtres humains peuvent et devraient agir sans plus tarder pour éviter le problème.
- En évoquant d'emblée l'existence et l'efficacité des solutions.

Source : Lorenzoni, Nicholson-Cole et Whitmarsh 2007.

Mesures institutionnelles. Au-delà de la communication, la politique climatique doit impérativement concevoir des interventions tenant compte des limites sociales et psychologiques susceptibles d'entraver une action positive. Des mesures d'adaptation efficaces devraient réduire les coûts de transaction des individus relatifs à la prise de décision et améliorer leur adhésion aux informations disponibles. Les stratégies d'adaptation devront donc tenir compte des perceptions communautaires des risques, de la vulnérabilité et de la capacité (voir encadré 8.5). L'institutionnalisation d'autoévaluations participatives de la préparation aux catastrophes, de l'adaptation et de l'atténuation peut s'avérer utile.

Un autre domaine d'action concerne la tendance des individus à accorder une moindre valeur à l'avenir qu'au présent. Bien qu'il s'agisse d'une propension innée, elle varie néanmoins en fonction de caractéristiques sociales et de pressions externes. On a par exemple observé que les agriculteurs péruviens qui ont un accès limité au crédit et à l'assurance et des droits fonciers mal établis ont des taux d'actualisation plus élevés, et que plus ces taux s'accroissent rapidement, plus les individus sont enclins à déboiser³⁴. Des réformes institutionnelles ayant pour effet d'améliorer l'accès au crédit et de renforcer les droits fonciers peuvent modifier les facteurs associés aux comportements innés qui déterminent la valeur accordée à l'avenir. Il en va de même pour l'éducation (encadré 8.6).

De la même manière, il faudrait envisager d'associer l'offre d'une assistance immédiate sous la forme de dégrèvements fiscaux ou de subventions aux particuliers et aux entreprises décidant de poursuivre des interventions qui nécessitent la prise en charge de coûts initiaux pour pouvoir

obtenir des avantages à long terme (tels que ceux dérivés des investissements axés sur les rendements énergétiques). Il serait également utile de donner aux acteurs privés une idée des orientations stratégiques à long terme. Une étude internationale réalisée en 2007 auprès de chefs d'entreprises a indiqué que 81 % d'entre eux pensaient que l'État devrait leur fournir une indication claire des politiques à long terme pour les aider à trouver des incitations au changement et planifier leurs investissements³⁵. (Les mécanismes pouvant être utilisés par les pouvoirs publics pour communiquer leurs orientations à long terme sont examinés plus loin.)

La politique climatique devrait également tenir compte de la tendance humaine à favoriser des résultats locaux, visibles et pouvant être obtenus à titre privé. Les mesures d'atténuation produisent des avantages généraux et diffus et les avantages directs des mesures d'adaptation ne sont pas toujours immédiatement apparents, selon le type de phénomène climatique envisagé et le rythme de changement. Ces avantages peuvent donc être jugés distants et incertains par l'ensemble du public. Il incombe aux institutions de communiquer clairement les avantages directs et connexes de l'adaptation et de l'atténuation, en attirant particulièrement l'attention sur ceux qui concernent la santé humaine, un sujet qui touche tout le monde.

L'amélioration des outils sur les coûts et les avantages peut encourager les décideurs publics et privés à agir de manière plus résolue. L'estimation des coûts et avantages des projets axés sur le rendement énergétique ne comprend généralement pas les avantages connexes non énergétiques. Ceux-ci sont, notamment, les avantages procurés au plan de la santé publique par l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau,

ENCADRÉ 8.6 *L'intégration de l'éducation climatique dans les programmes scolaires*

L'éducation peut contribuer à l'évolution des comportements. Aux Philippines, le président a promulgué en 2008 le *National Environmental Awareness and Education Act*, qui encourage l'intégration de l'éducation portant sur le changement climatique dans tous les programmes scolaires. Les réformes éducatives menées au Liban en 1998 ont intégré l'étude de l'environnement, dont le changement climatique, dans les programmes de sciences, d'éducation civique et de géographie. En 2006, *United States Environmental Agency* (Agence pour la protection de l'environnement – États-Unis) a créé un kit éducatif sur le changement climatique destiné aux élèves du secondaire, qui leur permet de calculer

les inventaires d'émissions. En 2007, les provinces canadiennes se sont engagées à inclure le changement climatique dans leurs programmes scolaires. Dans le cadre de sa troisième communication nationale sur le changement climatique, le gouvernement australien contribue à la promotion de l'éducation portant sur le changement climatique, notamment par le biais de la production du kit scolaire élaboré par *Australian Greenhouse Office*. L'intégration de l'éducation au changement climatique dans les programmes scolaires n'est toutefois qu'un premier pas. La mise en place d'un nouveau corps de professionnels devant aborder les problèmes complexes posés par le changement climatique est tout

aussi importante (voir chapitre 7). Enfin, une population éduquée est indispensable pour faciliter le changement. Les recherches montrent que les élèves, les étudiants et le public continuent de se méprendre au sujet de divers aspects du changement climatique, de l'effet de serre et de l'appauvrissement de la couche d'ozone^a. Pour combler ces lacunes, le public doit recevoir de manière systématique des informations correctes sur le changement climatique.

Sources : Hungerford et Volk 1990 ; Kastens et Turrin 2006.

a. Gautier, Deutsch et Rebich 2006.

l'accroissement possible du confort des occupants d'un bâtiment et la hausse de la productivité de la main-d'œuvre³⁶. La transition d'énergies fossiles vers des énergies renouvelables peut être créatrice d'emplois³⁷. Les études de cas réalisées dans le secteur manufacturier ont conclu que ces avantages peuvent être considérables, voire équivalents à la valeur des économies d'énergie³⁸. Les investissements peuvent ainsi être amortis beaucoup plus rapidement, ce qui encourage leur poursuite. De même, l'affectation des recettes issues des taxes sur le carbone ou l'énergie peut augmenter la visibilité des avantages de l'atténuation. Bien que l'affectation des recettes fiscales soit jugée économiquement inefficace, elle peut augmenter l'acceptation politique de nouvelles taxes car le public voit clairement où va l'argent.

Normes sociales. Les normes sociales sont les modes de comportement approuvés par la majorité des gens, les références qu'ils utilisent pour évaluer le bien-fondé de leur propre conduite. En influençant l'activité humaine, les normes sociales peuvent produire des résultats socialement désirables, généralement pour un coût relativement faible. L'idée de base est que les membres de la population veulent agir de manière socialement acceptable et ont tendance à faire comme les autres, surtout lorsque ces derniers sont nombreux et qu'ils les considèrent comme leurs pairs.

Les normes sociales ont un impact particulièrement important dans un climat d'incertitude³⁹. Un individu cherchant à déterminer comment se comporter s'inspire de ce que font les autres. Les appels à des comportements écologiques reposant sur des normes sociales sont plus efficaces que les moyens de persuasion traditionnels. Le maintien de la propreté de la voie publique en est un exemple.

Dans le domaine climatique, une expérience psychologique a été réalisée auprès de résidents californiens pour mesurer l'impact des normes sociales sur la consommation d'énergie⁴⁰. La norme sociale établie, c'est-à-dire la consommation énergétique moyenne des ménages, a été indiquée sur les factures adressées à un groupe de ménages à consommation élevée et à deux autres groupes à consommation faible. Une appréciation positive (émoticône souriante) a été donnée à l'un des deux groupes de ménages à faible consommation, en signe d'approbation de leur empreinte énergétique, tandis que les ménages à consommation élevée ont reçu une appréciation négative (émoticône triste), en signe de désapprobation. Ces mesures se sont traduites par : la réduction de la consommation des ménages à consommation élevée ; le maintien de celle des ménages à consommation inférieure à la moyenne ; et l'augmentation de la consommation du troisième groupe (ménages à faible consommation énergétique exposés à la norme sociale mais n'ayant pas reçu de commentaires positifs). Cette approche a depuis été adoptée par les services d'utilité collective de

dix grandes agglomérations des États-Unis, dont Chicago et Seattle, soucieux de réduire la consommation énergétique.

Le pouvoir des normes sociales ne peut être exploité qu'en augmentant la visibilité des comportements et de leurs conséquences. Les décisions et actions individuelles influant sur la consommation énergétique sont en grande partie invisibles du public et même des cercles restreints de la famille et des amis. L'activité humaine ne peut alors pas profiter du principe de réciprocité, des pressions par les pairs et des comportements de groupe généralement associés aux cas plus visibles d'évolution des comportements et de respect des règles, comme dans le cas du respect du code de la route.

Les recherches sur la coopération arrivent à la même conclusion. Les individus ont tendance à ne pas coopérer en l'absence d'informations sur le comportement des autres intervenants⁴¹. Il faudrait non seulement fournir aux agriculteurs d'un même bassin hydrographique des informations sur leur consommation d'eau mais également leur indiquer si celle-ci est inférieure ou supérieure à la norme établie par leurs homologues. Il est possible d'encourager les résidents des zones sujettes aux inondations à adopter des mesures de protection en leur montrant que d'autres membres de leur communauté ont rapidement adopté de telles mesures. En revanche, des communications attirant l'attention sur le faible nombre de personnes ayant adopté des mesures d'économie d'énergie entraîneraient inévitablement une réduction et non une augmentation de leur adoption.

Les normes sociales peuvent compléter les approches et mesures traditionnellement adoptées par les pouvoirs publics, telles que la réglementation, la fiscalité et la tarification. La prise en compte des comportements de groupe peut améliorer l'impact de ces mesures et offrir des opportunités d'utiliser conjointement des instruments différents. Mais certaines mesures fondées sur des incitations économiques peuvent faire plus de mal que de bien en réduisant l'effet des normes sociales. La tarification de la pollution ou des émissions peut donner aux pollueurs l'impression qu'ils peuvent polluer tant qu'ils payent leur juste part. De la même manière, des réglementations mal appliquées ou l'impression que les règles officielles peuvent être ignorées peuvent favoriser des comportements égoïstes et entraver la coopération⁴².

Certains recours, plus radicaux, aux normes sociales sont axés sur d'autres paramètres de progrès, comme ceux qui préconisent des notions de bien-être dissociées de la consommation⁴³. Et l'opposition politique à des instruments tels que les écotaxes peut être surmontée grâce à des régimes de dégrèvements fiscaux. En Suède, par exemple, les taux d'imposition très élevés frappant les émissions d'oxyde d'azote des producteurs d'énergie ont été politiquement acceptables car les taxes ont été totalement compensées par des dégrèvements proportionnels à la quantité d'électricité produite⁴⁴.

Ces mesures ne sont bien entendu pas suffisantes pour assurer le succès des politiques climatiques. Mais elles pourraient bien s'avérer nécessaires. L'encouragement de l'évolution des comportements aux fins d'atténuation et d'adaptation ne se limite pas à la fourniture d'informations, de financements ou de technologies. Les mesures traditionnelles peuvent être complétées par d'autres interventions, souvent peu onéreuses. Plutôt que de traiter ces facteurs sociaux et psychologiques en tant qu'obstacles à l'adaptation et à l'atténuation, les décideurs peuvent les utiliser pour élaborer des politiques plus efficaces et durables.

Refaire une place à l'État

Au cours des 30 dernières années, le rôle de l'État s'est amenuisé dans divers domaines importants pour la riposte au changement climatique, notamment celui de la recherche énergétique. La réduction des interventions directes a accompagné le recul de la place accordée au concept de « gouvernement » au profit de la notion de « gouvernance » et la mission de l'État a évolué pour essentiellement servir de guide et de catalyseur du secteur privé⁴⁵. Cette tendance générale masque néanmoins une situation complexe. L'Europe du xx^e siècle a connu diverses formes et manifestations du capitalisme d'État. L'essor des économies de l'Asie de l'Est, y compris de la Chine, a démontré la prééminence de l'État dans la « conduite du marché » pour produire l'exemple le plus flagrant de développement accéléré⁴⁶. Plus récemment, la crise financière de 2008 a exposé les pièges de la déréglementation et des marchés libéralisés et a amorcé un retour vers un plus grand rôle de l'État.

Le changement climatique nécessite des interventions gouvernementales pour pallier les nombreuses défaillances du marché qui y contribuent, que ce soit aux niveaux de la tarification, de la recherche et du développement technologique, ou de la coordination et de l'action collective aux plans mondial, national et local⁴⁷. En tant que fournisseurs de biens publics et correcteurs des externalités, les administrations publiques sont censées remédier à ces défaillances. Toutefois, l'intervention de l'État a des raisons d'être plus spécifiques.

Premièrement, la participation du secteur privé à la riposte au changement climatique revêt une importance cruciale mais il serait malavisé de l'exagérer. Malgré l'enthousiasme suscité par la contribution du secteur privé à des grands projets d'investissement pendant les années 80 et 90, la participation privée reste limitée dans le domaine des infrastructures. S'il est vrai que l'essentiel des investissements et des financements supplémentaires nécessaires à l'atténuation et à l'adaptation doivent provenir du secteur privé, il n'en demeure pas moins que les politiques et incitations gouvernementales joueront un rôle fondamental⁴⁸. Qui plus est, les producteurs d'énergie et les services de distribution d'électricité sont généralement des socié-

tés d'État ou des sociétés privées dont les opérations sont réglementées par l'État. La modification de la combinaison des différents types d'installations de production pourrait nécessiter l'octroi de subventions et le financement d'investissements de capital fixe initiaux. Il ne fait aucun doute que les entreprises sont incitées à bénéficier des excellents rendements des investissements axés sur le rendement énergétique mais, comme indiqué au chapitre 4, elles auront probablement besoin d'un appui de l'État en raison des contraintes du marché. Lorsque les coûts élevés des nouvelles technologies (véhicules produisant de faibles émissions ou génération d'électricité solaire, par exemple) entravent l'offre et la demande, diverses mesures gouvernementales peuvent s'avérer nécessaires pour élargir le marché.

Deuxièmement, les actions d'atténuation et d'adaptation entraîneront probablement une augmentation des dépenses publiques. La vente aux enchères de permis d'émissions ou la taxation du carbone sont génératrices de recettes. Pour maintenir les dépenses au même niveau, il faudrait que l'État accorde des remboursements d'impôt portant sur l'intégralité des montants perçus ou qu'il réinjecte l'intégralité des recettes. Mais ce type de neutralité budgétaire pourrait être perçu comme un luxe dans les pays qui s'efforcent de trouver des ressources pour financer de nouveaux investissements publics d'adaptation ou de nouvelles infrastructures énergétiques tout en limitant le déficit des finances publiques. Comme le montre le chapitre 7, l'État doit développer encore plus son rôle, déjà important, dans les domaines de la recherche, du développement et des démonstrations technologiques. Les autorités peuvent modifier les incitations, soit en subventionnant des investissements offrant des avantages sociaux plus diversifiés, que les marchés ont tendance à négliger (comme la R-D dans des segments plus risqués de la recherche énergétique) soit en taxant ou réglementant les actions préjudiciables à la société.

Troisièmement, la fréquence et la gravité accrues des phénomènes météorologiques extrêmes amèneront l'État à assumer un plus grand rôle d'assureur. Comme indiqué au chapitre 2, les marchés de l'assurance ne peuvent pas totalement sécuriser les risques climatiques. Les systèmes d'assurance du monde développé sont déjà mis à rude épreuve par l'augmentation des dangers menaçant les côtes américaines et japonaises, les îles des Caraïbes à revenu intermédiaire (tranche supérieure) et les plaines alluviales de l'Europe du Nord. Le changement climatique exacerbera les problèmes d'assurabilité et nécessitera vraisemblablement la renégociation de la limite entre les systèmes d'assurance publics et privés. Les pouvoirs publics seront soumis à des pressions visant à faire de l'État l'assureur de dernier recours pour une partie croissante de la population et pour un plus grand nombre de dommages. Ils devront parallèlement s'attaquer aux risques moraux qui incitent les gens à faire de mauvais choix parce qu'ils sont assurés.

Quatrièmement, l'État devra renforcer sa contribution dans les domaines du savoir et de l'apprentissage, en particulier en ce qui concerne l'adaptation au changement climatique⁴⁹. Comme expliqué au chapitre 7, les pouvoirs publics devront pour cela augmenter les investissements en R-D et améliorer l'efficacité des marchés en matière d'innovation technologique. Il faudra également transformer les services météorologiques en services climatiques, superviser la diffusion de l'information à différents niveaux et avoir recours aux organisations et régimes internationaux pour mettre en commun les connaissances des autorités compétentes et adapter les politiques aux conditions locales.

Cinquièmement, en tant que principaux dépositaires de la légitimité politique, les pouvoirs publics devront guider le secteur privé, contribuer au succès des actions communautaires et décentraliser au mieux les décisions et actions en matière d'adaptation et d'atténuation. Outre leur fonction de chef de file, les pouvoirs publics devront également assumer une fonction de réalisation et veiller à ce que les cibles et objectifs soient atteints en renforçant la réglementation, la fiscalité, la planification à long terme et la communication⁵⁰.

Cela ne signifie pas pour autant que la taille de l'État doive augmenter car il n'y a pas toujours de corrélation entre la taille des administrations publiques et la fourniture de biens publics⁵¹. Il s'agit plutôt de reconnaître, comme indiqué au chapitre 2, que les nouveaux défis posés par le changement climatique augmenteront également le coût des défaillances gouvernementales. Ces défis ne pourront être relevés qu'en élargissant les objectifs et programmes de l'État ainsi que le type, la portée et la qualité des interventions publiques.

Vers des administrations publiques intelligentes sur le plan climatique

Pour pouvoir s'attaquer avec succès au problème du changement climatique, les administrations publiques devront revoir leur mode de fonctionnement. Le passage du stade de l'identification des causes et des impacts du changement climatique à celui de l'élaboration de ripostes devra être accompagné d'un remaniement des structures gouvernementales⁵².

La majorité des pays ne sont pas dotés d'un organisme public pouvant contrôler tous les éléments de la stratégie de lutte contre le changement climatique car les mandats, responsabilités et groupes concernés sont répartis entre différents ministères. Rares sont les pays dotés d'un organisme capable de faire respecter les bilans carbone. De plus, le cadre temporel des impacts du changement climatique et des ripostes associées dépasse de loin celui d'un gouvernement élu. Par ailleurs les administrations n'apprennent pas vite⁵³. Parce que le changement climatique est un domaine de politique publique relativement nouveau et qu'il est impératif d'agir au plus tôt, les responsables de l'action publique doivent se préparer à essayer des échecs et à en tirer

les leçons qui s'imposent. Les études consacrées à ce sujet font de ces problèmes les principales causes de l'immobilisme des organisations⁵⁴.

Il est crucial que l'action publique soit efficace pour pouvoir tirer le meilleur parti du financement de l'adaptation. Comme indiqué au chapitre 6, la majorité des activités d'adaptation est exécutée dans le cadre de projets autonomes et indépendants. La fragmentation du financement de l'adaptation entrave l'intégration et le renforcement des processus de planification et de développement, augmente les coûts de transaction des bénéficiaires et des donateurs et détourne l'attention et le temps des politiciens et des fonctionnaires qui doivent s'employer à gérer les activités d'aide au détriment des priorités nationales. Les dizaines de milliards de dollars nécessaires à l'adaptation risquent d'augmenter les pressions sur les capacités d'absorption déjà limitées des pays en développement. Un grand nombre de ces pays qui ont le plus besoin d'assistance en matière d'adaptation sont également ceux qui ont la plus faible capacité de gestion et d'absorption des financements. Lorsque la capacité d'un bénéficiaire à gérer des fonds est limitée, les donateurs contrôlent plus étroitement ces fonds et les modalités des projets, ce qui a pour effet d'augmenter les pressions sur les systèmes nationaux, entraînant ainsi un cercle vicieux de réduction des capacités, de déficits budgétaires et de fragmentation⁵⁵.

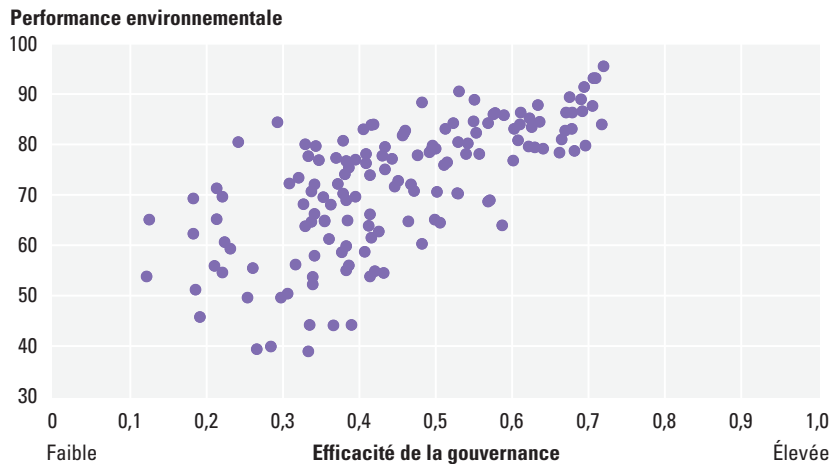
Améliorer la capacité de l'administration centrale

Les pays vont de l'avant lorsque les dirigeants politiques s'investissent résolument et orientent l'attention des fonctionnaires, de l'opinion publique et des parties prenantes extérieures. Réciproquement, les pays restent à la traîne lorsque leurs dirigeants font preuve d'immobilisme. Cela n'est guère surprenant. Les décideurs sont des êtres humains et le fonctionnement des organisations et des administrations publiques est influencé par les problèmes qu'ils rencontrent lorsqu'ils prennent leurs décisions⁵⁶. Toutefois, le leadership n'a pas uniquement une dimension individuelle ; il a également une dimension institutionnelle liée à la manière d'organiser la responsabilité, la coordination et l'obligation de rendre des comptes en matière de politique climatique (figure 8.6).

Attribuer la responsabilité en matière de politique climatique.

Le changement climatique continue de relever du ministère de l'environnement dans la majorité des pays. Mais la politique climatique couvre des domaines qui dépassent les limites de la protection de l'environnement et comprennent le commerce, l'énergie, les transports et la politique budgétaire. Les administrations chargées de l'environnement ont en règle générale moins de poids que les services du trésor, les ministères du commerce ou du développement économique. Leurs ressources sont souvent moindres et elles sont

Figure 8.6 Une gouvernance efficace va de pair avec une bonne performance environnementale



Sources : Kaufman, Kraay et Mastruzzi 2007 ; Esty *et al.* 2008.

Note : La performance environnementale est mesurée par un indice de performance environnementale (<http://epi.yale.edu/>). L'efficacité de la gouvernance est indiquée par une valeur située entre 0 et 1 et est obtenue par transformation logarithmique des indicateurs d'efficacité de la gouvernance tirés de la base de données sur les indicateurs de la gouvernance dans le monde (World Governance Indicators) qui couvrent 212 pays sur la période 1996-2007. Elle est fondée sur les opinions d'un grand nombre d'entreprises, de citoyens et d'experts de pays à revenu élevé et en développement.

généralement représentées à un niveau moins élevé au sein de l'équipe gouvernementale.

Bien qu'il n'y ait pas de règle unique régissant l'attribution du mandat en matière climatique, il est impératif d'accorder un plus grand poids aux responsabilités dans ce domaine (encadré 8.7). Le renforcement des services administratifs, fondé sur l'indépendance budgétaire, un personnel spécialisé et le pouvoir de proposer et d'appliquer des lois, concentre l'autorité et évite la dispersion des responsabilités qui peut conduire à l'immobilisme. La création d'organes ministériels dirigés par des ministres de premier plan ou l'inclusion de politiques climatiques dans les programmes d'importants organes existants sont des signes de renforcement administratif.

Faciliter l'intégration et la coordination interorganisations.

Bien qu'important, le renforcement des administrations ne sera probablement pas suffisant. Et la création d'un organe spécialisé pourrait même aller à l'encontre du but recherché. Pour assurer la cohérence des stratégies au sein d'une administration, il est nécessaire d'intégrer la planification climatique dans l'ensemble des organes administratifs. Le problème tient au cloisonnement traditionnel des tâches gouvernementales et à la tendance, pour les organismes, à traiter des problèmes multidimensionnels sans se consulter. L'intégration peut passer par la création d'unités sur le climat dans chaque ministère ou organe, appuyées par des programmes sectoriels d'atténuation et d'adaptation aux niveaux national et local. Les organes publics concernés, tels que ceux chargés de la santé publique, de l'énergie, des forêts, de l'aménagement du territoire et de la gestion des ressources naturelles, pourraient non seulement poursuivre leurs mandats révisés, mais aussi coordonner leurs travaux sous l'égide d'un organe directeur chargé des questions concernant le changement climatique. Ce type de coordi-

nation ne pourra sans doute être assuré sans repenser le rôle des services hydrométéorologiques (voir chapitre 7).

De nouveaux organes de coordination – un comité ministériel chargé des questions de changement climatique permettant d'établir des rapports directs entre les responsables des questions climatiques et ceux d'un domaine d'intervention crucial comme l'énergie, ou un comité de coordination intragouvernemental présidé par l'organe directeur – pourraient réunir les responsables chargés des questions relatives au changement climatique au sein des administrations publiques. La coordination des politiques climatiques pourrait également relever du premier ministre si, par exemple, une fonction consultative était créée au sein de son cabinet.

Il importe d'accorder une attention particulière à l'élaboration de politiques et de stratégies sectorielles dans un but aussi bien d'intégration que de coordination. Comme le montre le chapitre 4, la politique énergétique de nombreux pays privilégie la réforme du marché et la tarification, l'ouverture du secteur énergétique à la concurrence et la mise en place d'institutions de réglementation pour offrir des prix avantageux et des approvisionnements fiables aux consommateurs⁵⁷. Il y a peu de temps encore, l'atténuation n'était même pas un aspect périphérique des politiques énergétiques. Les mandats des organes chargés de l'énergie ainsi que les politiques et stratégies qui les guident seront élargis pour inclure les approvisionnements à faible intensité de carbone et le rendement énergétique dans leurs responsabilités fondamentales parallèlement à la montée en importance du changement climatique sur le plan politique.

Des documents d'orientation peuvent accroître la coordination des activités d'adaptation. Les Programmes d'action nationaux pour l'adaptation au changement climatique (PANA) des pays les moins avancés en sont un bon exemple. Conçus en tant qu'exercices techniques de définition de

ENCADRÉ 8.7 *Les réformes institutionnelles engagées par la Chine et l'Inde en matière climatique*

En Chine, la responsabilité de l'action climatique, autrefois en marge de l'activité gouvernementale, est aujourd'hui au cœur même de celle-ci. Le gouvernement a dans un premier temps, en 1990, mis en place des institutions spécialisées dans les questions de changement climatique. Reconnaissant l'importance et le caractère intersectoriel du problème, il a ensuite créé, en 1998, un Comité de coordination national des activités relatives au changement climatique. En 2007, ce comité est devenu l'Organe national chargé de l'action menée face au changement climatique. Présidé par le premier ministre chinois, il coordonne les stratégies, politiques et mesures de 28 services répartis dans divers organismes publics. Lors de la

réforme gouvernementale de 2008, le bureau général de cet organe a été intégré à la Commission nationale pour le développement et la réforme, qui est chargée des activités générales relatives au changement climatique et est appuyée par un comité d'experts présentant des données scientifiques pour éclairer la prise de décision.

En Inde, pour prendre un autre exemple, le Conseil sur le changement climatique, présidé par le premier ministre, a élaboré le Plan d'action national face au changement climatique et est responsable de sa mise en œuvre. Ce Plan d'action couvre huit missions nationales qui relèvent de divers ministères sectoriels car elles portent sur l'énergie solaire, l'amélioration du rendement énergétique,

l'habitat durable, la conservation de l'eau, la préservation de l'écosystème himalayen, la création d'une « Inde verte », l'agriculture durable et la création d'une plateforme stratégique de connaissances sur le changement climatique. Le Plan d'action national vise une transition progressive des combustibles fossiles vers les combustibles non fossiles et les sources d'énergie renouvelable.

Des mesures semblables de réforme institutionnelle ont déjà été adoptées par plusieurs autres pays, développés et en développement.

Source : Équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde.

priorités, ces programmes analysent les impacts spécifiques aux pays et formulent des ripostes adaptées en faisant participer différents organes et niveaux de gouvernement ainsi que des représentants du monde des affaires et de la société civile. Ils peuvent ainsi fournir un cadre institutionnel permettant de placer l'adaptation au cœur des priorités gouvernementales. Mais leurs fonctions stratégiques ne pourront être regroupées que si elles font l'objet d'une attention accrue de la part des partenaires internes et externes (encadré 8.8).

Renforcer la responsabilité des pouvoirs publics. Lorsque les pouvoirs publics ne donnent pas suite à certaines questions stratégiques, cela peut être parce les responsabilités ne sont pas clairement définies, en raison de la nature du problème ou à cause de carences institutionnelles. Les interventions en cas de catastrophe naturelle offrent de bons exemples. À moins qu'un pays ne soit régulièrement frappé par des phénomènes météorologiques graves, la prévention des catastrophes et les mesures d'intervention associées ne figurent généralement pas à l'ordre du jour des pouvoirs publics. Les dirigeants ne craignent guère d'être en butte à des critiques, récompensés ou sanctionnés en raison de mesures qu'ils étaient censés prendre (la prévention des catastrophes) mais auxquelles le public ne prête pas attention. Les équipes au pouvoir sont peu motivées à agir lorsque le public ne voit pas de relation claire entre efforts et résultats.

Il est possible d'améliorer la responsabilité des pouvoirs publics en matière de politique climatique en rendant les organismes d'exécution plus comptables envers les grands ministères, comme le Trésor ou le cabinet du premier ministre et en rendant l'ensemble des administrations

publiques plus comptable envers le parlement, le public et des organes autonomes (encadré 8.9). Les parlements peuvent organiser des débats, suivre les résultats obtenus, éduquer le public et exiger du gouvernement qu'il s'engage à fournir des rapports réguliers sur ses objectifs, politiques et réalisations en matière climatique. L'intégration de cibles et d'objectifs climatiques dans les textes juridiques peut sensiblement contribuer à la responsabilisation du gouvernement et à la pérennité des mesures au-delà des courts échéanciers qui les caractérisent. Un organe consultatif d'experts indépendants peut formuler des recommandations à l'intention du gouvernement et faire rapport au parlement.

Tirer le meilleur parti des mesures prises par les administrations locales

Les administrations locales et régionales peuvent constituer des espaces politiques et administratifs plus proches des sources d'émissions et des impacts du changement climatique. Chargées de la mise en œuvre et de la concrétisation des politiques nationales, elles assurent des fonctions de décision, de réglementation et de planification dans des secteurs essentiels aux activités d'atténuation (transports, construction, services publics, sensibilisation au niveau local) et d'adaptation (protection sociale, réduction des risques de catastrophes, gestion des ressources naturelles). Plus proches des citoyens, ces administrations infranationales peuvent sensibiliser le public et mobiliser des acteurs non étatiques. Comme elles sont, de surcroît, la charnière entre l'État et la population, c'est à leur niveau que les pouvoirs publics sont mis en demeure de dûment s'acquitter de leurs responsabilités en fournissant une riposte adaptée⁵⁸.

ENCADRÉ 8.8 Les Programmes d'action nationaux pour l'adaptation au changement climatique

Les Programmes d'action nationaux pour l'adaptation au changement climatique (PANA), qui sont les efforts nationaux les plus visibles menés par les pays les moins avancés pour recenser leurs domaines prioritaires en matière d'adaptation, ont suscité trois critiques. La première est que le processus PANA donne lieu à la mise en place des projets semblables dans différents pays, sans tenir compte de leurs besoins d'adaptation spécifiques. La seconde est qu'il est souvent difficile de faire la distinction entre les projets d'adaptation et les projets de développement classiques. La troisième est que le processus PANA ne fait pas participer les principaux ministères et décideurs du pays ou ne tiennent pas suffisamment compte des besoins institutionnels aux niveaux infranational et local.

Pour répondre à ces critiques, l'équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde a organisé deux réunions de fonctionnaires de haut niveau chargés des PANA en Afrique et en Asie : une à Bangkok, en octobre 2008, et une à Johannesburg, en novembre 2008. Ces réunions ont dressé un tableau plus complexe et ont permis d'établir que certaines critiques étaient injustifiées.

Bien que les besoins et projets d'adaptation puissent paraître semblables lorsqu'ils sont examinés collectivement, ils varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des dangers et menaces climatiques recensés comme étant les plus sérieux. Les lignes directrices sur les PANA expliquent certaines similitudes dans le langage utilisé pour défendre les projets considérés nécessaires pour répondre aux besoins d'adaptation les plus urgents. La prépondérance de projets portant sur les ressources agricoles et naturelles et la gestion des catastrophes reflète le fait que les impacts du changement climatique seront ressentis en premier lieu dans les domaines des produits primaires et de la gestion des catastrophes. Enfin, les PANA ont été préparés avec très peu de moyens de sorte que la planification n'a pas pu dépasser le niveau national ou couvrir plusieurs ministères ou décideurs. Mais les critiques tiennent également à un autre facteur, qui est la manière dont les pays les moins avancés considèrent les PANA qu'ils ont préparés.

Faiblesse du soutien financier : Le coût total de l'ensemble des projets qualifiés d'urgents dans les 38 PANA s'élève à moins de 2 milliards de dollars. Malgré ce faible coût, le soutien financier accordé est resté

limité, ce qui suscite des préoccupations justifiées quant à l'appui des donateurs et accentue encore le manque de confiance.

Carences de l'architecture : Les dispositifs institutionnels établis pour l'adaptation au changement climatique doivent avoir un caractère plus permanent, permettre l'entretien de rapports plus étroits avec les différents ministères, bénéficier du soutien des ministères des finances et du plan, et assurer des liens plus solides avec les provinces et districts. Un organe spécialisé peut s'occuper de la planification mais les activités devront être exécutées par le biais de structures institutionnelles et administratives existantes car de nombreux projets sont de portée sectorielle.

Faiblesse des capacités : Les capacités de planification et d'exécution de projets d'adaptation continuent d'être très faibles dans la majorité des pays les moins avancés. Les capacités techniques, les connaissances, la formation, les matériels et équipements et la modélisation devront s'améliorer ; des spécialistes de ces questions venant des milieux universitaires et de la société civile pourraient fournir certaines de ces capacités.

Source : Équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde.

ENCADRÉ 8.9 Le renforcement de la responsabilité du gouvernement en matière climatique au Royaume-Uni

La restructuration et la mise en place du dispositif institutionnel d'action dans le domaine climatique au Royaume-Uni se sont accompagnées de mesures qui obligent les autorités à être davantage comptable de leurs résultats. En effet, le Royaume-Uni a :

- adopté un projet de loi établissant un fondement légal pour les cibles officielles d'émissions de CO₂ au Royaume-Uni à court, moyen et long termes, par le biais de bilans carbone quinquennaux définissant des niveaux annuels d'émissions acceptables. Trois bilans couvrant une période de 15 ans seront en vigueur à tout moment, qui permettront de replacer dans une optique à moyen terme l'évolution des émissions de

carbone dans l'ensemble de l'économie.

- désigné l'organisme chef de file chargé du changement climatique, qui est le Department of Energy and Climate Change.
- établi de manière officielle, par le Public Sector Agreement 27, l'obligation du Department of Energy and Climate Change de rendre compte au Trésor des résultats concernant divers objectifs de l'action publique, et il a fixé des échéances pour mesurer les progrès accomplis au plan de la mise en œuvre. Ces cibles comprennent des mesures spécifiques visant la réduction des émissions totales du Royaume-Uni, l'augmentation du niveau durable des

prélèvements d'eau et la réduction de l'intensité de CO₂ dans l'économie du pays.

- constitué un comité chargé des questions relatives au changement climatique sous la forme d'un organisme consultatif d'experts indépendants susceptible de recommander aux autorités des moyens d'atteindre leurs cibles. Ce comité présente des rapports annuels au Parlement et le gouvernement est tenu d'y répondre de manière officielle. Le comité fournira tous les cinq ans une évaluation détaillée des progrès du pays en direction de ses cibles à long terme.

Source : Équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde.

C'est probablement pour ces raisons que les collectivités locales devancent souvent les administrations nationales lorsqu'il s'agit de mener une action climatique. Comme indiqué au chapitre 2, les niveaux régional et local sont souvent plus propices à la conception et la mise en œuvre de mesures d'adaptation dans l'agriculture, la planification de l'infrastructure, la formation et la gestion de l'eau. Mais les collectivités locales peuvent également donner l'exemple dans le domaine de l'atténuation. Divers États situés sur les côtes américaines, par exemple, ont élaboré des stratégies et cibles avec leurs responsables locaux avant de s'associer pour tester des marchés du carbone régionaux (encadré 8.10). Plusieurs villes du monde se sont dotées de leurs propres plans d'action et stratégies climatiques, en adoptant les cibles de Kyoto pour compenser l'inaction des administrations nationales et en participant activement à des initiatives urbaines nationales et internationales comme le réseau C40 des plus grandes villes du monde engagées dans la lutte contre le changement climatique.

L'importance du rôle des administrations locales prône en faveur de l'inclusion de ces administrations dans la politique climatique. La décentralisation de la politique climatique présente des avantages et des inconvénients, et l'ampleur et l'envergure optimales de cette décentralisation dépendent du contexte⁵⁹. Les administrations locales se heurtent aux mêmes contraintes que les administrations centrales et, généralement, dans une plus large mesure. Au niveau local, la politique climatique relève habituellement d'un service de l'environnement, qui se heurte à des problèmes d'intégration et de coordination. Les administrations infranationales disposent souvent de ressources et de compétences insuffisantes et ont un pouvoir budgétaire moindre qui les empêche d'avoir recours aux écotaxes. Bien qu'elles soient proches des citoyens, les collectivités locales ont rarement la même légitimité que les administrations nationales, en raison du faible taux de participation aux élections locales et de leurs mandats électoraux ou capacités d'action limités. La dévolution de la politique climatique s'en trouve compliquée d'autant.

Pour améliorer la collaboration verticale, les administrations nationales peuvent prendre des mesures habilitantes, financières et directives. Les mesures habilitantes comprennent le transfert de connaissances et de pratiques optimales. Les initiatives d'établissement de références en matière de concurrence et les prix récompensant les collectivités locales les plus performantes revêtent un intérêt particulier à cet égard ; l'indice provincial de compétitivité utilisé au Viet Nam est un bon exemple de ce type de référence au niveau infranational. Les mesures financières comprennent les accords axés sur les performances conclus dans le cadre du secteur public, qui établissent un lien entre, d'une part, l'octroi de financements et, d'autre part, le nombre d'habitants et la couverture géographique de l'autorité mais aussi

l'atteinte des cibles. Les mesures directives comprennent les lois nationales prescrivant aux collectivités locales d'élaborer des plans stratégiques dans les secteurs pertinents ou des régimes de réglementation conçus pour rendre les fonctionnaires locaux comptables devant l'administration centrale, comme dans le cas de l'aménagement du territoire.

Envisager la stratégie climatique d'un point de vue politique

Les politiques publiques et leurs résultats sont façonnés par la vigueur, la densité et le rôle de la société civile ; la culture administrative et les lois de finances ; ainsi que les facteurs influençant l'articulation et l'organisation des intérêts politiques⁶⁰. Les combustibles fossiles, outre qu'ils alimentent les économies des pays développés et en développement, présentent également une importance particulière pour certains groupes d'intérêts spéciaux qui orientent leurs politiques. Dans de nombreux pays en développement, le carbone non seulement n'est pas tarifé, il est également subventionné (voir chapitre 4). À la fin de 2007, près d'un cinquième des pays subventionnait l'essence et légèrement plus d'un tiers le gazole. Plus des deux tiers des pays à revenu faible ou intermédiaire (tranche inférieure) subventionnaient le kérosène⁶¹. Les pays dotés de vastes secteurs énergétiques reposant sur les combustibles fossiles sont manifestement réfractaires au changement⁶². Il s'ensuit que, à l'échelle mondiale, les sources et facteurs à l'origine des émissions de carbone sont souvent liés à la légitimité politique des gouvernements.

Chaque système politique présente des avantages et des inconvénients pour la lutte contre le changement climatique. Prenons la démocratie. Les faits montrent clairement que les démocraties obtiennent de meilleurs résultats que les autocraties dans le domaine environnemental⁶³. Les libertés politiques améliorent la performance environnementale, en particulier dans les pays les plus pauvres⁶⁴. Il existe un lien entre une plus grande liberté civile et la qualité de l'air ou de l'eau, notamment une concentration moindre de dioxyde de soufre et de particules dans l'air et de coliformes et d'oxygène dissous dans l'eau⁶⁵. Les démocraties sont davantage susceptibles d'adhérer à des régimes et traités environnementaux internationaux, qu'elles ratifient généralement plus vite, et elles ont prouvé qu'elles pouvaient résoudre des problèmes touchant au patrimoine commun de l'humanité, tels que l'appauvrissement de la couche d'ozone⁶⁶.

Toutefois, le bilan des démocraties est parfois meilleur en termes de résultats (signature d'engagements internationaux) que de réalisations (réductions effectives des émissions), comme dans le cas de Kyoto⁶⁷. À l'instar des consommateurs et des électeurs, les démocraties sont plus facilement prêtes à s'engager à résoudre un problème qu'à le résoudre vraiment, et la « lacune verte » des comportements des consommateurs se retrouve au niveau des

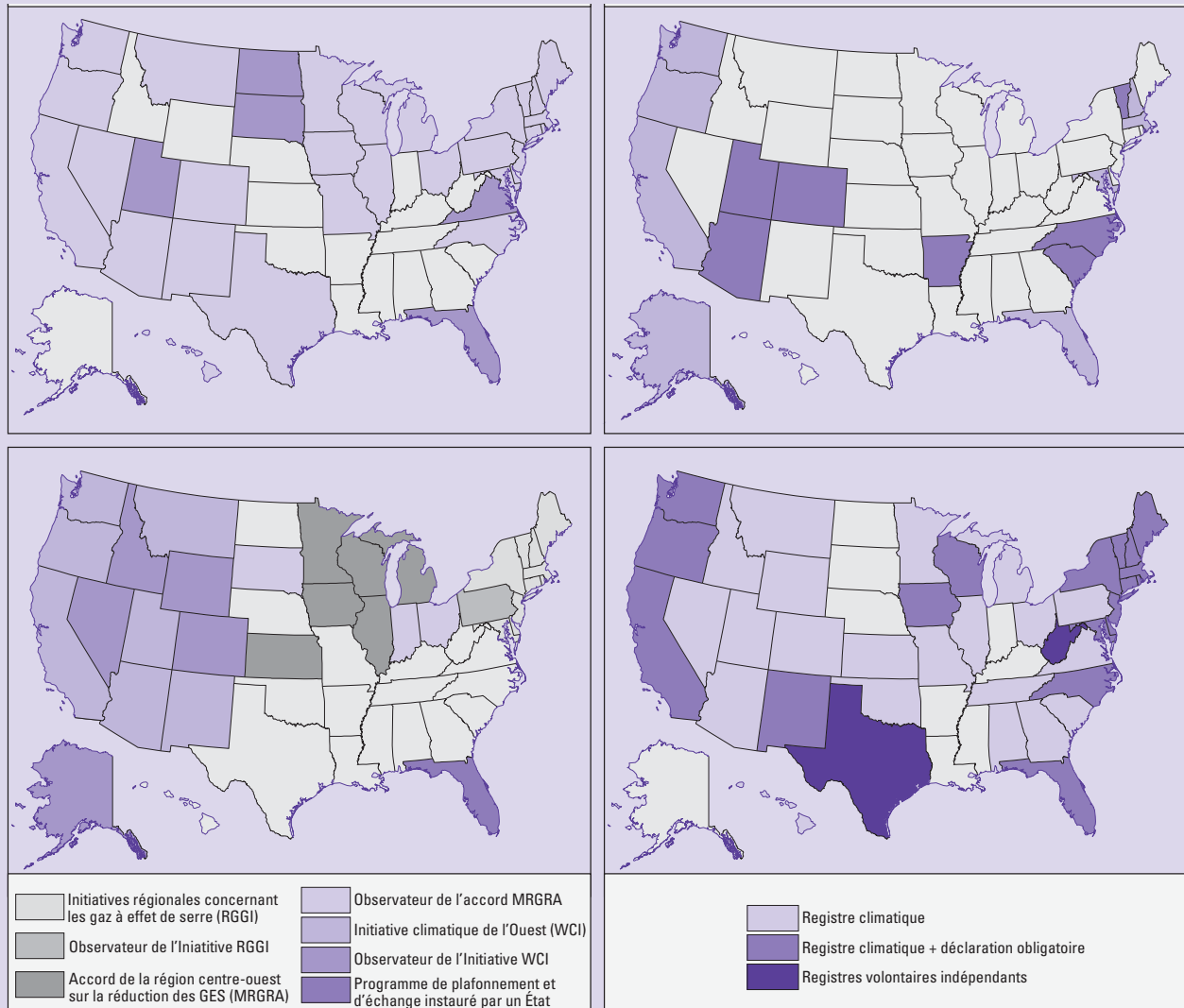
ENCADRÉ 8.10 *Le fédéralisme vert et la politique du changement climatique*

Les juridictions infranationales des systèmes fédéralistes sont de longue date considérées comme des laboratoires d'essai et de réforme des politiques^a. Les administrations des États d'une fédération, de même que les administrations provinciales et locales ont obtenu des résultats plus ou moins positifs en ce qui concerne l'efficacité et la productivité des politiques de « fédéralisme vert », c'est-à-dire les politiques

environnementales menées à l'initiative des administrations infranationales^b. Les tenants du fédéralisme vert font valoir, notamment, l'aptitude des administrations locales à adapter les stratégies en fonction de leurs ressources et caractéristiques démographiques uniques, ainsi que la possibilité de prendre les commandes de politiques nationales plus lentes en procédant à des expériences et à

un apprentissage novateurs au niveau infranational^c. Les critiques du fédéralisme vert citent les risques de fuites de carbone ainsi que l'intérêt pour les entreprises de s'installer dans des juridictions moins strictes. Ce processus est souvent qualifié de course au nivellement par le bas car il nuit à la qualité de l'environnement et se traduit par une offre insuffisante de services et de biens publics^d.

Le fédéralisme vert aux États-Unis : l'action menée au niveau des États et des régions



ENCADRÉ 8.10 *Le fédéralisme vert et la politique du changement climatique (suite)*

Toutefois, le fédéralisme vert a donné des résultats prometteurs dans le domaine climatique. Les États-Unis en fournissent l'un des plus clairs exemples (voir carte). Malgré la décision de l'administration fédérale de ne pas ratifier le Protocole de Kyoto, et en l'absence de politique fédérale sur le changement climatique, les gouvernements infranationaux ont montré l'exemple^e. De nombreuses régions sont dotées de programmes de suivi des émissions de gaz à effet de serre, de registres ainsi que d'objectifs de réduction de ces émissions. Des douzaines d'États ont élaboré et mis en œuvre des

plans d'atténuation et d'adaptation ou ont adopté des normes standard relatives aux sources d'énergie renouvelables ainsi que des objectifs de réduction des émissions. Les villes et municipalités ont également mis en place des programmes détaillés d'audit et de planification de mesures climatiques, en fixant leurs propres objectifs de réduction des émissions. Ces actions produisent, globalement, d'importantes réductions et d'aucuns prétendent qu'elles ont entraîné une course au nivellement par le haut^f. Si les quelques États dotés de cibles d'émissions fermes atteignent les objectifs qu'ils

se sont fixés pour 2020, les émissions nationales des États-Unis pourraient, à cet horizon, se stabiliser au niveau de 2010^g.

Source : Les actions des États sont suivies par Pew Center on Global Climate Change (www.pewclimate.org).

- a. Osborne 1988.
- b. Oats et Portney 2003.
- c. Lutsey et Sperling 2008.
- d. Kunce et Shogren 2005.
- e. Rabe 2002.
- f. Rabe 2006.
- g. Lutsey et Sperling 2008.

gouvernements dont les paroles ne sont pas toujours concrétisées par des actes (figure 8.7)⁶⁸. Il y a plusieurs raisons à cela. Malgré la prise de conscience croissante du changement climatique par le public, les politiciens continuent de craindre que leurs électeurs seront moins favorables à l'action climatique lorsqu'ils seront personnellement touchés par les coûts directs et visibles qu'elle entraîne (taxes sur le carbone et l'énergie, augmentation des prix, perte d'emplois)⁶⁹. Cela pourrait expliquer pourquoi il est plus difficile de réduire les émissions en imposant des restrictions limitant les choix individuels. Il est politiquement plus délicat de prendre des mesures affectant les décisions en matière de mobilité que de viser les centrales électriques⁷⁰.

En termes politiques, l'action climatique se heurte à une « limite de proximité ». L'être humain a tendance à s'attaquer en priorité aux sujets de préoccupation visibles et directs, ce qui se traduit par un parti pris politique favorisant la résolution de problèmes environnementaux locaux (infrastructures d'assainissement, qualité de l'air et de l'eau, risques associés aux rejets toxiques et protection des habitats locaux) aux dépens des problèmes transfrontières (perte de biodiversité, surpêche, changement climatique, etc.)⁷¹. La limite de proximité a également une dimension temporelle. Les problèmes de longue haleine, en particulier ceux concernant les biens publics, sont difficiles à résoudre et le changement climatique ne fait pas exception à la règle⁷². Les problèmes intergénérationnels nécessitent des cadres d'action à long terme incompatibles avec les échéanciers gouvernementaux et les cycles électoraux.

Lorsque les causes politiques n'ont pas de public pour les défendre, la myopie qui s'ensuit peut produire des effets pervers. La gestion des risques de catastrophe montre que des mesures d'adaptation classiques peuvent échouer parce que le public (ou les électeurs) ne pense généralement pas de

manière préventive. Les décideurs sont donc incités à négliger la prévention et la préparation, qui ne leur rapportent pas de votes. Et la réalisation par les décideurs que les secours en cas de catastrophe ont des meilleures retombées politiques que la préparation clôt le cycle du risque moral. Cette assertion est loin d'être purement théorique. Si les coûts des catastrophes ont considérablement augmenté, c'est en partie parce que les pouvoirs publics ont compris que l'indemnisation des groupes et zones frappés par des phénomènes météorologiques graves a d'excellentes retombées électorales⁷³. Cette prise de conscience entrave la réorientation de l'action publique tout en renforçant les mauvaises politiques. L'assurance récolte fournie par l'État réduit la motivation des agriculteurs à éviter les dégâts dus aux intempéries. La perspective d'obtenir des secours en cas de catastrophe incite les populations et les administrations locales à compter sur une indemnisation plutôt qu'à prendre des mesures préventives⁷⁴.

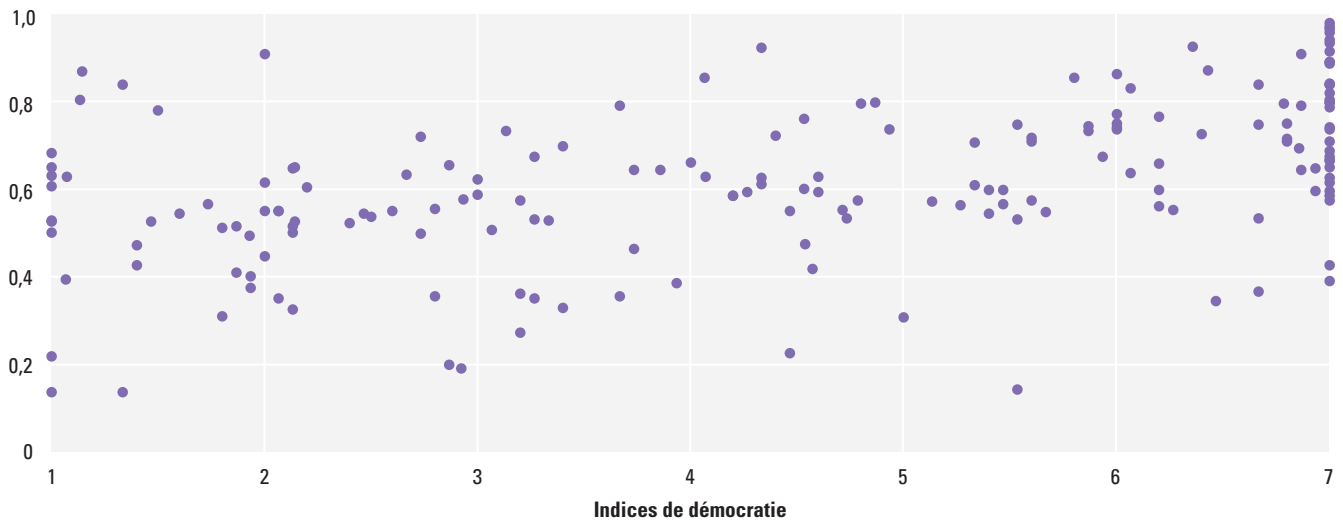
Les réformes climatiques ont besoin d'un soutien politique. Toute réorientation de l'action publique suscite généralement une résistance, surtout lorsqu'elle entraîne des coûts visibles pour des acteurs nombreux et divers. La politique climatique est un excellent exemple car ses coûts seront évidents pour divers groupes économiques et pour l'ensemble de la population. Le soutien public à la politique climatique peut être renforcé de diverses manières.

Adopter des interventions ayant le soutien du plus grand nombre possible des (principaux) acteurs politiques

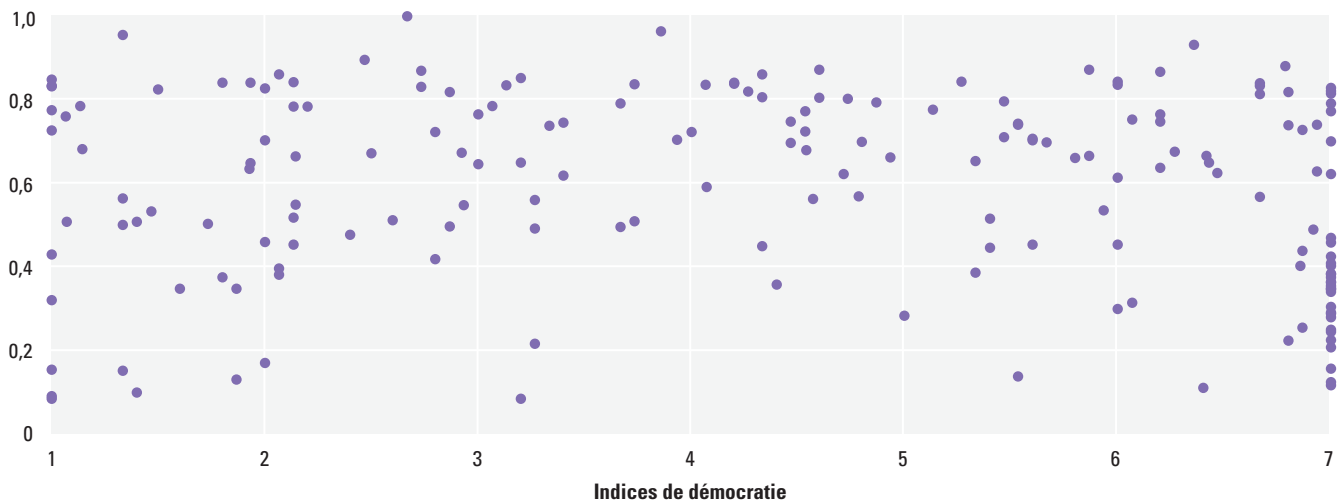
Concevoir des politiques présentant des avantages connexes. Les pays qui respectent leurs obligations internationales en matière d'environnement sont généralement motivés par des raisons locales : pollution atmosphérique, dégradation de la qualité de l'eau, menaces environnementales directes et visibles⁷⁵. Les individus contribuent aux biens collectifs

Figure 8.7 Le bilan des démocraties est meilleur en termes de résultats que de réalisations

Résultats : politiques, lois et accords internationaux



Réalisations : réduction des émissions



Source : Bättig et Bernauer 2009.

Note : Un résultat est un indice de comportement coopératif en matière de politique du changement climatique et couvre la ratification d'accords, la présentation d'informations et le financement ; cet indice prend une valeur comprise entre 0 et 1, qui augmente avec le degré de coopération. Une réalisation est un indice de comportement coopératif en matière de politique du changement climatique et couvre l'évolution et les niveaux des émissions ; cet indice prend une valeur comprise entre 0 et 1, qui augmente avec le degré de coopération. Political Rights Index de Freedom House est une mesure de la démocratie qui prend en compte le degré de liberté du processus électoral, le pluralisme et la participation politiques et le fonctionnement des administrations publiques. Freedom House évalue les droits politiques sur une échelle de 1 à 7, où 1 représente les pays les plus libres et 7 les moins libres. L'échelle figurant sur cette figure a toutefois été inversée et les valeurs élevées correspondent à un niveau élevé de démocratie. Les données représentent les moyennes de la période 1990-2005. La figure montre qu'il existe une relation positive entre le résultat et le niveau de démocratie, tel que représenté par l'indice des droits politiques de Freedom House ; le résultat des pays démocratiques est généralement meilleur. En revanche, aucune relation significative n'a pu être établie entre le niveau de démocratie et les réalisations climatiques sous la forme de réduction des émissions (mesurée par la réduction des émissions en 2003 par rapport aux niveaux de 1990).

plus facilement lorsqu'ils peuvent percevoir un avantage direct. La recherche active d'objectifs et d'avantages qui se recoupent devrait être au cœur d'une politique climatique politiquement durable⁷⁶. Les politiques de développement intelligentes sur le plan climatique ne portent pas nécessairement sur le climat, et diverses actions peuvent remédier aux compromis (apparents) entre développement économique et action climatique. Le défi consiste à formuler l'ac-

tion climatique en termes d'objectifs et d'avantages locaux, privés et à court terme, tels que la sécurité énergétique, le rendement énergétique, la santé publique, la lutte contre la pollution et la réduction des risques de catastrophes.

Viser les principaux groupes intéressés. Les avantages connexes de la politique climatique peuvent permettre de convaincre les groupes d'intérêt qui y sont opposés. C'est le cas, par exemple, sur le marché du travail. Lorsque l'effet à

court terme de la politique climatique sur l'emploi est négatif, il importe d'exposer clairement les avantages compensatoires que cette politique peut avoir pour la main-d'œuvre organisée. Il peut être possible de gagner la bonne volonté des syndicats en leur montrant qu'une économie à faible intensité de carbone nécessite une main-d'œuvre plus importante qu'une économie classique ; que les économies d'énergie peuvent se traduire par une augmentation des dépenses à fort coefficient de main-d'œuvre ; que l'investissement dans le développement et le déploiement de la technologie peut créer des emplois ; et que les recettes des taxes sur l'énergie peuvent compenser les prélèvements fiscaux sur la main-d'œuvre et ainsi augmenter la demande de travail. Il est important de déterminer avec le plus grand soin si les politiques peuvent sembler exagérément favorables à un groupe ou à un autre. Le soutien à la politique climatique est fort parmi les groupes qui voient un débouché dans une économie à faible intensité de carbone tandis que les industries établies y restent opposées. L'exemption de permis d'émissions des entreprises déjà en place est souvent citée comme une mesure stratégique visant à obtenir le soutien à long terme de la communauté des affaires, mais ce système suscite également la résistance du public (encadré 8.11).

S'appuyer sur des processus et des instruments consensuels. L'obtention de l'accord préalable des principales parties intéressées concernant des mesures spécifiques peut

réduire les retombées politiques négatives. Outre le recensement des avantages connexes, les politiques consensuelles comprennent la mise en place de systèmes consultatifs et de régimes volontaires qui lient les principaux acteurs, dont les groupes industriels, aux principes de la politique climatique. Les systèmes politiques consultatifs semblent être les plus efficaces en matière de politique environnementale⁷⁷.

Augmenter l'adhésion du public aux réformes

Rechercher l'équité, l'impartialité et l'inclusion. L'aversion d'un décideur pour l'iniquité est une question d'éthique et de politique, car la redistribution entraîne généralement des retombées politiques, positives ou négatives selon la réaction des électeurs. Le public est plus susceptible d'accepter la réorientation de l'action publique s'il estime qu'elle s'attaque à un problème grave et que les coûts et avantages qui en résulteront seront équitablement répartis. Il convient donc de concevoir des politiques climatiques progressistes et équitables faisant intervenir des mesures compensatoires transparentes à l'intention des plus démunis. Les politiques budgétaires vertes peuvent être progressistes et contribuer largement à promouvoir l'équité⁷⁸. Le recyclage des revenus d'une taxe sur le carbone ou des permis d'émission vendus aux enchères peut financer des réductions d'impôts et stimuler l'économie. L'affectation spéciale des revenus des permis et taxes sur le carbone à des systèmes de protection sociale peut augmenter l'acceptation des réformes de tarification de l'énergie. Dans plusieurs pays européens, les recettes issues de prélèvements fiscaux sur les polluants atmosphériques, les déchets dangereux et les produits chimiques toxiques permettent de réduire les impôts sur le revenu et les contributions à la sécurité sociale.

Montrer l'exemple. Les responsables de l'action publique peuvent définir des normes sociales en modifiant le comportement des administrations publiques. L'écologisation de ces dernières peut jouer un important rôle de communication tout en fournissant des avantages immédiats en matière de réduction des émissions et de promotion de la recherche et de l'investissement dans de nouvelles technologies. Les autorités devraient aussi, dans la mesure du possible, apporter des modifications à divers instruments, notamment dans le cadre des marchés publics, pour privilégier une perspective écologique.

Utiliser les catastrophes naturelles liées au climat à des fins pédagogiques. Les catastrophes peuvent servir de catalyseurs et permettre une rapide réorientation de l'action publique, mais l'occasion doit généralement être saisie sans tarder⁷⁹. La vague de chaleur qui s'est abattue sur l'Europe en 2003, l'ouragan Katrina qui a frappé les États-Unis en 2005 et les incendies qui ont ravagé l'Australie en 2009 ont attiré l'attention sur le changement climatique. De tels événements

ENCADRÉ 8.11 Mobiliser le soutien au mécanisme de plafonnement et d'échange

L'Union européenne a récemment mis en place un système d'échange de droits d'émissions pour satisfaire à ses obligations aux termes du Protocole de Kyoto. Ce système présente de nombreuses caractéristiques intéressantes. L'une de ses particularités est que les pays de l'UE doivent accorder gratuitement des crédits aux entreprises, malgré les rentes procurés par ces crédits, qui peuvent être considérables, et les gains économiques pouvant manifestement être générés par leur vente aux enchères. Cette règle et la reconnaissance implicite des importantes rentes générées par les crédits expliquent en partie pourquoi le mécanisme d'attribution ne couvre que des périodes de cinq ans.

L'objectif est d'éviter que la création et la collecte de rentes ne sacrifient trop de richesses. Mais les énormes avantages qui en découlent pour les gros pollueurs ont attiré l'attention des médias et suscité l'hostilité du public. Ce système quinquennal a également créé un cadre incitatif allant à l'encontre du but recherché, en encourageant l'adoption d'un comportement stratégique pour influencer la prochaine règle d'attribution, et a été mal reçu par les entreprises désirant entrer sur le marché.

Source : Équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde.

permettent aux pouvoirs publics de prendre des mesures qui seraient impopulaires en temps normal⁸⁰. La reconstruction à la suite de catastrophes naturelles offre également l'occasion de rompre avec les anciennes pratiques et de bâtir des communautés et des sociétés plus résistantes.

Augmenter l'acceptabilité des politiques. L'adoption rapide et soudaine de mesures par les autorités nationales peut permettre de déjouer les manœuvres des groupes désirant maintenir le statu quo, et de créer un sentiment d'inévitabilité si la dynamique est maintenue⁸¹. Mais une démarche graduelle peut également augmenter l'acceptabilité des politiques, car leur réorientation progressive attire généralement moins l'attention et suscite une résistance moindre. Ceci pourrait expliquer pourquoi les grandes économies ont mis du temps à commencer à réduire leurs émissions. Des changements progressifs et de portée restreinte peuvent établir un cadre propice à des modifications ultérieures plus importantes. La prévisibilité, c'est-à-dire la définition de l'orientation à long terme de l'action gouvernementale, permet aux parties prenantes (publiques et privées) de recenser les incitations nécessaires pour réorienter leurs activités⁸².

Améliorer la communication. Des stratégies de communication bien conçues peuvent contribuer à l'évolution des comportements mais également mobiliser un soutien politique aux réformes. Les campagnes d'information du public ont fortement contribué au succès des réformes des subventions, même lorsque les groupes bénéficiant des subventions étaient mieux organisés et plus puissants que les bénéficiaires des réformes (consommateurs et contribuables). La communication devrait avoir pour objet de combler les lacunes des connaissances et de répondre à l'opposition rationnelle aux réformes. La démystification d'une partie des perceptions négatives et injustifiées des politiques climatiques peut par exemple réduire l'incertitude et l'opposition. Les études menées en ce domaine montrent que les craintes d'une course au nivellement par le bas et de perte de capacité concurrentielle sont exagérées et que l'investissement dans des nouvelles technologies vertes peut entraîner le développement de marchés pour des biens et services environnementaux⁸³. De même, les écotaxes seront mieux acceptées par le public s'il est démontré à ce dernier qu'elles ne constituent pas simplement une source de recettes publiques mais sont également un moyen déterminant de modifier les comportements.

Aborder les déficiences structurelles des systèmes politiques

Renforcer le pluralisme politique. Les groupes de pression, notamment ceux qui craignent que les politiques climatiques ne nuisent à leurs entreprises ou industries, pourraient avoir intérêt à limiter la portée et l'impact des politiques climatiques. Les mesures visant à réduire l'activité

de ces groupes, dont l'objectif est de contrôler ou de détourner les politiques climatiques, comprennent le renforcement du pluralisme politique. Les impacts d'un tel renforcement sur la réorientation de l'action publique peuvent être divers et variés. Un grand nombre d'objecteurs ayant un pouvoir de veto peut entraîner la paralysie des politiques⁸⁴. Mais le pluralisme politique limite généralement les manœuvres de couloir et la corruption en donnant la parole aux intérêts divergents⁸⁵. Les intérêts écologiques ont prévalu sur les intérêts commerciaux qui ont essayé de freiner l'austérité des politiques environnementales dans les domaines de l'innocuité des produits alimentaires, des normes standards relatives aux sources d'énergie renouvelables et de la réglementation des déchets⁸⁶. Le pluralisme politique peut également promouvoir des alliances d'intérêts écologiques et commerciaux qui deviennent des facteurs de changement.

Promouvoir la transparence. Une présentation claire du coût de l'énergie et de ses composants (production, importations, subventions à la distribution et taxes) peut contribuer à apporter un soutien à la réforme des marchés énergétiques. Dans le domaine de l'atténuation, la présentation du surcoût du carbone en termes relatifs constitue l'un des principaux avantages de la déclaration transparente du coût de l'énergie. Cette transparence a contribué tout particulièrement à faire prendre conscience au public du coût des subventions énergétiques, à évaluer les compromis et à identifier les gagnants et les perdants. Certains pays sont dotés de systèmes de déclaration des subventions destinés à améliorer la compréhension par le public de leurs coûts et avantages⁸⁷.

Créer des obstacles à l'abandon des politiques. La mise en place de mécanismes et de modalités politiques et institutionnels peut éviter que l'action sur le changement climatique ne soit transférée des générations actuelles aux générations futures en créant des obstacles à l'abandon des politiques climatiques. De tels mécanismes ou modalités pourraient inclure des amendements constitutionnels et des lois sur le changement climatique⁸⁸. Mais ils pourraient également donner lieu à la création d'institutions indépendantes ayant une perspective à plus long terme, à l'instar des institutions monétaires qui luttent contre l'inflation.

Le développement intelligent sur le plan climatique commence chez soi

La recherche de ripostes appropriées au changement climatique a longtemps été guidée par la nécessité d'un accord international – d'une solution mondiale réelle. Bien qu'important, un accord international ne répond toutefois que partiellement au problème. Si le changement climatique représente indiscutablement un échec du marché mondial, il est fonction de causes et d'effets définis à l'échelle locale et modifié par des circonstances spécifiques au contexte local.

Cela signifie que la politique climatique (couvrant l'atténuation et l'adaptation) a des déterminants locaux. Une étude portant sur l'adoption de normes standards relatives aux sources d'énergie renouvelables réalisée dans l'ensemble des États-Unis a montré que le libéralisme politique, le potentiel des énergies renouvelables et les concentrations de polluants atmosphériques locaux sont autant de facteurs qui augmentent la probabilité qu'un État adopte ce type de normes. En revanche, l'intensité de carbone a tendance à faire baisser cette probabilité⁸⁹. Les régimes internationaux influencent les politiques nationales, mais l'inverse est également vrai. Le comportement d'un pays en ce qui concerne l'élaboration, le respect et la mise en œuvre d'un accord climatique dépend des incitations nationales. Les normes politiques, les structures institutionnelles et les groupes d'intérêts influencent l'intégration des normes internationales dans le dialogue politique interne et les actions nationales, tout en influant sur le régime international en dictant les actions nationales⁹⁰. La richesse d'un pays, son panier énergétique et ses préférences économiques – pour une intervention déterminée par l'État ou le libre jeu des forces du marché – façonneront la politique d'atténuation. Les traditions culturelles et politiques s'ajoutent aux considérations économiques et administratives lorsqu'il s'agit de choisir entre l'imposition de taxes ou l'adoption d'un mécanisme de plafonnement et d'échange. Et, en l'absence de mécanisme international, les incitations à respecter les engagements mondiaux doivent

être trouvées à l'intérieur des frontières nationales, par le biais d'avantages concentrés au niveau local tels que l'amélioration de la qualité de l'air, le transfert de technologie et la sécurité énergétique.

L'action climatique est déjà engagée. Les pays ne montrent pas tous la même détermination et affichent des résultats différents en ce qui concerne la réduction de leurs émissions. Les petits pays, qui en théorie pourraient être incités à profiter du système sans y adhérer, compte tenu de leur rôle négligeable dans la réduction des émissions mondiales, ont à ce jour pris des mesures plus énergiques que les principaux pays responsables. Dans certains pays, les mesures infranationales et celles prises par les pouvoirs publics locaux influencent déjà la politique nationale et la position des pays sur la scène internationale. Enfin, le secteur privé montre que les vieilles pratiques peuvent céder la place à de nouvelles perspectives (encadré 8.12).

L'inertie institutionnelle qui entrave la politique climatique ne pourra être vaincue que grâce à une modification profonde de l'interprétation de l'information et de la prise de décision. Diverses actions peuvent être prises à l'intérieur des frontières par les administrations nationales et infranationales ainsi que par le secteur privé, les médias et la communauté scientifique. Bien que la mise en place d'un régime climatique international efficace soit une préoccupation justifiée, elle ne devrait pas encourager l'attentisme, qui ne peut que renforcer l'inertie et entraver la riposte.

ENCADRÉ 8.12 *Les pratiques du secteur privé évoluent même en l'absence de législation nationale*

Les acteurs du secteur privé ont renforcé leurs actions visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, même dans les pays qui ne sont pas dotés de lois-cadres sur le changement climatique. Un nombre croissant d'entreprises se fixe des cibles d'émissions et des normes de déclaration non obligatoires. En 2008, un nombre record de résolutions sur le changement climatique (57) a été présenté aux conseils d'administration d'entreprises américaines, soit deux fois plus que cinq ans auparavant. Ces mesures ont en moyenne été appuyées par 23 % des actionnaires, un autre record. Les entreprises à forte intensité de carbone ont également uni leurs forces pour examiner des stratégies d'atténuation du changement climatique. Début 2009, **U.S. Climate Action Partnership**, qui regroupe plus d'une vingtaine de sociétés

produisant d'importantes émissions de gaz à effet de serre et plusieurs organisations non gouvernementales, a présenté un plan unifié en vue d'une action législative fédérale demandant la réduction de 80 % des niveaux d'émissions de 2005 d'ici 2050. **Business Roundtable**, une association de grandes sociétés américaines, a élaboré une stratégie pour améliorer la conservation, l'efficacité et la production énergétique nationales d'ici 2025. **Prince of Wales International Business Leaders Forum**, une organisation indépendante au service de plus de 100 sociétés comptant parmi les plus grandes à l'échelle mondiale, a lancé le programme Business and the Environment en reconnaissance de l'impact du changement climatique sur les opérations et responsabilités des entreprises. Cette campagne incite des pans entiers

de l'industrie à modifier leurs pratiques. En mars 2009, l'association des assureurs américains a été la toute première à prescrire à ses membres d'évaluer les risques climatiques pesant sur les sociétés qu'ils assurent et de divulguer leurs plans de gestion de ces risques. Ces derniers comprennent les risques directs posés par les impacts du changement climatique et les risques indirects posés par les actions visant l'atténuation du changement climatique. De même, le secteur des placements financiers s'apprête à renforcer la divulgation des risques climatiques associés aux sociétés cotées en bourse tout en encourageant les investissements intelligents sur le plan climatique.

Source : Équipe chargée du Rapport sur le développement dans le monde.

Notes

- 1 North 1990
- 2 Soderholm 2001
- 3 Sehring 2006
- 4 Foa 2009
- 5 Gardner et Stern 2008
- 6 Gardner et Stern 2008
- 7 Bannon *et al.* 2007 ; Leiserowitz 2007 ; Brechin 2008 ; Sternman et Sweeney 2007
- 8 IPPR 2008 ; Retallack, Lawrence et Lockwood 2007
- 9 Wimberly 2008 ; Accenture 2009
- 10 Norgaard 2006 ; Jacques, Dunlap et Freeman 2008
- 11 Bulkeley 2000
- 12 Kellstedt, Zahran et Vedlitz 2008
- 13 Immerwahr 1999
- 14 Krosnick *et al.* 2006
- 15 Boykoff et Mansfield 2008
- 16 Oreskes 2004 ; Krosnick 2008
- 17 Miller 2008
- 18 Bostrom *et al.* 1994
- 19 Bazerman 2006
- 20 Sternman et Sweeney 2007
- 21 Ornstein et Ehrlich 2000 ; Weber 2006
- 22 Repetto 2008
- 23 Moser et Dilling 2007 ; Nisbet et Myers 2007
- 24 Maslow 1970
- 25 Olson 1965 ; Hardin 1968 ; Ostrom 2009
- 26 Irwin 2009
- 27 Winter et Koger 2004
- 28 Sandvik 2008
- 29 SnnbO'Connor *et al.* 2002 ; Kellstedt, Zahran, et Vedlitz 2008 ; Norgaard 2006 ; Moser et Dilling 2007 ; Dunlap 1998
- 30 Norgaard 2009
- 31 Ward 2008
- 32 Krosnick 2008
- 33 Kallbekken, Kroll et Cherry 2008
- 34 Swallow *et al.* 2007
- 35 Clifford Chance 2007
- 36 Romm et Ervin 1996
- 37 Roland-Holst 2008
- 38 Laitner et Finman 2000
- 39 Cialdini et Goldstein 2004 ; Griskevicius 2007
- 40 A. Corner, « Barack Obama's Hopes of Change Are All in the Mind. » The Guardian, 27 novembre 2008
- 41 Irwin 2009
- 42 Irwin 2009
- 43 Layard 2005
- 44 Sterner 2003
- 45 Banque mondiale 1992 ; Banque mondiale 1997 ; Banque mondiale 2002
- 46 Wade 1990
- 47 Stern 2006
- 48 Haïtes 2008
- 49 Janicke 2001
- 50 Giddens 2008
- 51 Bernauer et Koubi 2006
- 52 Meadowcroft 2009
- 53 Birkland 2006
- 54 Bazerman 2006
- 55 OCDE 2003
- 56 Bazerman 2006
- 57 Doern et Gattinger 2003
- 58 Alber et Kern 2008
- 59 Estache 2008
- 60 Kunkel, Jacob et Busch 2006
- 61 FMI 2008
- 62 Kunkel, Jacob et Busch 2006
- 63 Congleton 1992 ; Congleton 1996
- 64 Barrett et Graddy 2000.
- 65 Torras et Boyce 1998
- 66 Congleton 2001 ; Schneider, Leifeld et Malang 2008
- 67 Rowell 1996 ; Vaughn-Switzer 1997
- 68 Bättig et Bernauer 2009
- 69 Compston et Bailey 2008
- 70 Bättig et Bernauer 2009
- 71 Bättig et Bernauer 2009
- 72 Sprinz 2008
- 73 Schmidlein, Finch et Cutter 2008 ; Garrett et Sobel 2002
- 74 Birkland 2006
- 75 Dolsak 2001
- 76 Agrawala et Fankhauser 2008
- 77 Compston et Bailey 2008

« Vous avez déjà pensé à émigrer loin de la Terre ? Sur la Lune, Mars ou Vénus ? Mais nous savons que notre Terre est la plus belle planète de toutes. Je veux continuer de vivre dans ce lieu merveilleux, avec ses oiseaux qui gazouillent, ses fleurs parfumées, ses montagnes vertes et ses icebergs bleus. Alors, je vous demande à tous de travailler ensemble pour conserver la beauté de la Terre mère. Aidez-moi à bâtir un monde meilleur. »

— Giselle Lau Ching Yue, Chine, 9 ans



78 Ekins et Dresner 2004
 79 Birkland 2006
 80 Compston et Bailey 2008
 81 Kerr 2006
 82 « A Major Setback for Clean Air, » New York Times, 16 juillet 2008
 83 Janicke 2001
 84 Tsebelis 2002
 85 Dolsak 2001
 86 Vogel 2005 ; Bernauer et Caduff 2004 ; Bernauer 2003
 87 FMI 2008.
 88 Kydland et Prescott 1977 ; Sprinz 2008
 89 Matisoff 2008
 90 Davenport 2008 ; Kunkel, Jacob et Busch 2006 ; Dolsak 2001 ; Cass 2005

Bibliographie

- Accenture, *Shifting the Balance from Intention to Action: Low Carbon, High Opportunity, High Performance*, New York, 2009.
- Agrawala, S. et S. Fankhauser, *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*. Paris : Organisation pour la coopération et le développement économique, 2008.
- Alber, G. et K. Kern, « Governing Climate Change in Cities: Modes of Urban Climates Governance in Multi-level Systems », document présenté à la conférence de l'OCDE sur les villes compétitives et le changement climatique, du 9 au 10 octobre, Milan, 2008.
- Anderson, M. G. et E. A. Holcombe, « Reducing Landslide Risk in Poor Housing Areas of the Caribbean: Developing a New Government-Community Partnership Model », *Journal of International Development* 19 : 205-21, 2007.
- Bannon, B., M. DeBell, J. A. Krosnick, R. Kopp et P. Aldous, « Americans' Evaluations of Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions », document technique, Stanford University, Palo Alto, Californie, 2007.
- Banque mondiale, *World Development Report 1992. Development and the Environment*, Oxford University Press, New York, 1992.
- , *World Development Report 1997. The State in a Changing World*. Washington, 1997.
- , *World Development Report 2002. Building Institutions for Markets*, Banque mondiale, Washington, 2002.
- Barrett, S. et K. Graddy, « Freedom, Growth and the Environment », *Environment and Development Economics* 5 (4) : 433-56, 2000.
- Bättig, M. B. et T. Bernauer. « National Institutions and Global Public Goods Are Democracies More Cooperative in Climate Change Policy? », *International Organization* 63 (2) : 1 28, 2009.
- Bazerman, M., « Climate Change as a Predictable Surprise », *Climatic Change* 77 : 179-93, 2006.
- Bernauer, T., *Genes, Trade, and Regulation: The Seeds of Conflict in Food Biotechnology*, Princeton University Press, Princeton, 2003.
- Bernauer, T. et L. Caduff, « In Whose Interest? Pressure Group Politics, Economic Competition and Environmental Regulation », *Journal of Public Policy* 24 (1) : 99-126, 2004.
- Bernauer, T. et V. Koubi, « States as Providers of Public Goods: How Does Government Size Affect Environmental Quality? », document de travail 14, Center for Comparative and International Studies, Zurich, 2006.
- Birkland, T. A., *Lessons from Disaster: Policy Change after Catastrophic Events*, Georgetown University Press, Washington, 2006.
- Bostrom, A., M. G. Morgan, B. Fischhoff et D. Read, « What Do People Know about Global Climate Change? Mental Models », *Risk Analysis* 14 (6) : 959-70, 1994.
- Boykoff, M. et M. Mansfield, « Ye Olde Hot Aire: Reporting on Human Contributions to Climate Change in the U.K. Tabloid Press », *Environmental Research Letters* 3 : 1-8, 2008.
- Brechin, S. R., « Ostriches and Change: A Response to Global Warming and Sociology », *Current Sociology* 56 (3) : 467-74, 2008.
- BTS (Bureau of Transportation Statistics), *Key Transportation Indicators November 2008*, département américain des Transports, Washington 2008.
- Bulkeley, H., « Common Knowledge? Public Understanding of Climate Change in Newcastle, Australia », *Public Understanding of Science* 9 : 313-33, 2000.
- Cass, L., « Measuring the Domestic Salience of International Environmental Norms: Climate Change Norms in German, British, and American Climate Policy Debates », document présenté à l'International Studies Association, Honolulu, 2005.
- Cialdini, R. B. et N. J. Goldstein, « Social Influence: Compliance and Conformity », *Annual Review Psychology* 55 : 591-621, 2004.
- Clifford Chance, *Climate Change: A Business Response to a Global Issue*, Clifford Chance, Londres, 2007.
- Compston, H. et I. Bailey, *Turning Down the Heat: The Politics of Climate Policy in Affluent Democracies*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, Royaume-Uni, 2008.
- Congleton, R. D., « Political Regimes and Pollution Control », *Review of Economics and Statistics* 74 : 412-21, 1992.
- , *The Political Economy of Environmental Protection*, University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1996.
- , « Governing the Global Environmental Commons: The Political Economy of International Environmental Treaties and Institutions », in *Globalization and the Environment*, éd. G. G. Schulze et H. W., Oxford University Press, Ursprung, New York, 2001.
- Davenport, D., « The International Dimension of Climate Policy », in *Turning Down the Heat: The Politics of Climate Policy in Affluent Democracies*, éd. H. Compston et I. Bailey, Palgrave Macmillan, Basingstoke, Royaume-Uni, 2008.
- Doern, G. B. et M. Gattinger, *Power Switch: Energy Regulatory Governance in the 21st Century*, Dolsak, N., « Mitigating Global Climate Change: Why Are Some Countries More Committed than Others? », *Policy Studies Journal* 29 (3) : 414-36, 2001.
- Dunlap, R. E., « Lay Perceptions of Global Risk: Public Views of Global Warming in Cross-National Context », *International Sociology* 13 : 473-98, 1998.
- EIA (Energy Information Administration), *Annual Energy Outlook 2009*, Washington, 2009.
- Ekins, P. et S. Dresner, *Green Taxes and Charges: Reducing their Impact on Low-income Households*, Joseph Rowntree Foundation, York, Royaume-Uni, 2004.
- EPA (Environmental Protection Agency), *Draft Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2007*, Washington, 2009.
- Estache, A., « Decentralized Environmental Policy in Developing Countries », Banque mondiale, Washington, 2008.
- Esty, D. C., M. A. Levy, C. H. Kim, A. de Sherbinin, T. Srebotnjak et V. Mara, *Environmental Performance Index*, Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven, 2008.

- FMI (Fonds Monétaire International), *Fuel and Food Price Subsidies: Issues and Reform Options*, FMI, Washington, 2008.
- Foa, R., « Social and Governance Dimensions of Climate Change: Implications for Policy », document de travail en matière de recherche sur la politique 4 939, Banque mondiale, Washington, 2009.
- Gardner, G. T. et P. C. Stern, « The Short List: The Most Effective Actions U.S. Households Can Take to Curb Climate Change », *Environment Magazine*, 2008.
- Garrett, T. A. et R. S. Sobel. « The Political Economy of FEMA Disaster Payments », document de travail 2002-01 2B, Banque de la réserve fédérale de St Louis, 2002.
- Gautier, C., K. Deutsch et S. Rebich, « Misconceptions about the Greenhouse Effect », *Journal of Geoscience Education*, 54 (3) : 386-95, 2006.
- Giddens, A., *The Politics of Climate Change: National Responses to the Challenge of Global Warming*, Cambridge, Polity Press, Royaume-Uni, 2008.
- Griskevicius, V., « The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms », *Psychological Science*, 18 (5) : 429-34, 2007.
- Haites, E., « Investment and Financial Flows Needed to Address Climate Change », Breaking the Climate Deadlock Briefing Paper, The Climate Group, Londres, 2008.
- Hardin, G., « The Tragedy of the Commons », *Science* 162 : 1243-48, 1968.
- Hungerford, H. et T. Volk., « Changing Learner Behavior through Environmental Education », *Journal of Environmental Education*, 21 : 8-21, 1990.
- ICCT (International Council on Clean Transportation), *Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standard: A Global Update*, Washington : San Francisco : ICCT, 2007.
- Immerwahr, J., *Waiting for a Signal: Public Attitudes toward Global Warming, the Environment and Geophysical Research*, Public Agenda, New York, 1999.
- IPPR (Institute for Public Policy Research), *Engagement and Political Space for Policies on Climate Change*, IPPR, Londres, 2008.
- Irwin, T., « Implications for Climate Change Policy of Research on Cooperation in Social Dilemma », Document de travail en matière de recherche sur la politique 5006, Banque mondiale, Washington, 2008.
- Jacques, P., R. Dunlap et M. Freeman, « The Organisation of Denial: Conservative Think Tanks and Environmental Skepticism », *Environmental Politics*, 17 (3) : 349-85, 2008.
- Janicke, M., « No Withering Away of the Nation State: Ten Theses on Environmental Policy », in *Global Environmental Change and the Nation State: Proceedings of the 2001 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change*, éd. F. Biermann, R. Brohm et K. Dingwert, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Berlin, 2001.
- Kahneman, D. et A. Tversky, « Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk », *Econometrica* 47 : 263-91, 1979.
- Kallbekken, S., S. Kroll et T. L. Cherry, « Do You Not Like Pigou, or Do You Not Understand Him? Tax Aversion and Earmarking in the Lab », document présenté aux séminaires d'Oslo en économie expérimentale et comportementale, département d'économie, université d'Oslo, 2008.
- Kastens, K. A. et M. Turrin, « To What Extent Should Human/Environment Interactions Be Included in Science Education? », *Journal of Geoscience Education*, 54 (3) : 422-36, 2006.
- Kaufman, D., A. Kraay et M. Mastruzzi, *World Governance Indicators*, Banque mondiale, Washington, 2007.
- Kellstedt, P., S. Zahran et A. Vedlitz, « Personal Efficacy, the Information Environment, and Attitudes toward Global Warming and Climate Change in the United States », *Risk Analysis*, 28 (1) : 113-26, 2008.
- Kerr, S., « The Political Economy of Structural Reform in Natural Resource Use: Observations from New Zealand », document présenté à la réunion National Economic Research Organizations, Paris, 2006.
- Krosnick, J., « The American Public's Views of Global Climate Change and Potential Amelioration Strategies », série du séminaire *World Development Report 2010*, présentation, Banque mondiale, Washington, 2008.
- Krosnick, J., A. Holbrook, L. Lowe et P. Visser, « The Origins and Consequences of Democratic Citizen's Policy Agendas: A Study of Popular Concern about Global Warming », *Climate Change*, 77 : 7-43, 2006.
- Kunce, M. et J. F. Shogren, « On Interjurisdictional Competition and Environmental Federalism », *Journal of Environmental Economics and Management*, 50 : 212-24, 2005.
- Kunkel, N., K. Jacob et P.-O. Busch, « Climate Policies: (The Feasibility of) a Statistical Analysis of their Determinants », document présenté à Human Dimensions of Global Environmental Change, Berlin, 2006.
- Kydland, F. E. et E. C. Prescott, « Rules rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plan », *Journal of Political Economy*, 85 (3) : 473-91, 1977.
- Laitner, J. et H. Finman, *Productivity Benefits from Industrial Energy Efficiency Investments*, EPA Office of the Atmospheric Programs, Washington, 2000.
- Layard, R. *Happiness: Lessons from a New Science*, Penguin, Londres, 2005.
- Leiserowitz, A., « Public Perception, Opinion and Understanding of Climate Change: Current Patterns, Trends and Limitations », document occasionnel pour *Human Development Report 2007/2008*, United Nations Development Programme, New York, 2007.
- Lorenzoni, I., S. Nicholson-Cole et L. Whitmarsh, « Barriers Perceived to Engaging with Climate Change among the UK Public and Their Policy Implications », *Global Environmental Change*, 17 : 445-59, 2007.
- Lutsey, N. et D. Sperling, « America's Bottom-up Climate Change Mitigation Policy », *Energy Policy* 36 : 673-85, 2008.
- Maslow, A. H., *Motivation and Personality*, Harper & Row, New York, 1970.
- Matisoff, D. C., « The Adoption of State Climate Change Policies and Renewable Portfolio Standards », *Review of Policy Research*, 25 : 527-46, 2008.
- Meadowcroft, J., « Climate Change Governance », document de travail en matière de recherche sur la politique 4 941, Banque mondiale, Washington, 2009.
- Miller, D., « What's Wrong with Consumption? », University College London, Londres, 2008.
- Moser, S. C. et L. Dilling, *Creating a Climate for Change: Communicating Climate Change and Facilitating Social Change*, Cambridge University Press, New York, 2007.
- Moxnes, E. et A. K. Saisel, « Misperceptions of Global Climate Change: Information Policies », *Climatic Change*, 93 (1-2) : 15-37, 2009.
- Nisbet, M. C. et T. Myers, « Twenty Years of Public Opinion about Global Warming », *Public Opinion Quarterly*, 71 (3) : 444-70, 2007.

- Norgaard, K. M., « People Want to Protect Themselves a Little Bit: Emotions, Denial, and Social Movement Nonparticipation », *Sociological Inquiry*, 76 : 372-96, 2006.
- , « Cognitive and Behavioral Challenges in Responding to Climate Change », document de travail en matière de recherche sur la politique 4 940, Banque mondiale, Washington, 2009.
- North, D. C., *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1990.
- Oats, W. E. et P. R. Portney, « The Political Economy of Environmental Policy », in *Handbook of Environmental Economics*, Elsevier Science B.V., éd. K. G. Maler et J. R. Vincent, Amsterdam, 2003.
- O'Connor, R., R. J. Bord, B. Yarnal et N. Wiefek, « Who Wants to Reduce Greenhouse Gas Emissions? », *Social Science Quarterly*, 83 (1) : 1-17, 2002.
- OCDE (Organisation pour la coopération et le développement économique), *Harmonizing Donor Practices for Effective Aid Delivery*, OCDE, Paris, 2003.
- Olson, M., *The Logic of Collective Action*, Harvard University Press, Cambridge, 1965.
- Oreskes, N. 2004. « Beyond the Ivory Tower: The Scientific Consensus on Climate Change », *Science* 306 (5702) : 1686.
- Ornstein, R. et P. Ehrlich, *New World, New Mind: Moving toward Conscious Evolution*, Malor Books, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- Osborne, D., *Laboratories of Democracy: A New Breed of Governor Creates Models for National Growth*, Harvard Business School Press, Boston, 1988.
- Ostrom, E., « A Polycentric Approach for Coping with Climate Change », document de fond pour le WDR 2010, 2009.
- Patt, A. G. et D. Schröter, « Climate Risk Perception and Challenges for Policy Implementation: Evidence from Stakeholders in Mozambique », *Global Environmental Change*, 18 : 458-67, 2008.
- Rabe, B. G., *Greenhouse and Statehouse: The Evolving State Government Role in Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2002.
- , *Race to the Top: The Expanding Role of U.S. State Renewable Portfolio Standards*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2006.
- Repetto, R., « The Climate Crisis and the Adaptation Myth », Yale School of Forestry and Environmental Studies Working Paper 13, Yale University, New Haven, 2008.
- Retallack, S., T. Lawrence et M. Lockwood, *Positive Energy: Harnessing People Power to Prevent Climate Change*, Institute for Public Policy Research, Londres, 2007.
- Roland-Holst, D., *Energy Efficiency, Innovation, and Job Creation in California*, Center for Energy, Resources, and Economic Sustainability, université de Californie, Berkeley, 2008.
- Romm, J. J. et C. A. Ervin, « How Energy Policies Affect Public Health », *Public Health Reports*, 111 (5) : 390-99, 1996.
- Rowell, A., *Green Backlash: Global Subversion of the Environmental Movement*, Routledge, Londres, 1996.
- Sandvik, H., « Public Concern over Global Warming Correlates Negatively with National Wealth », *Climatic Change*, 90 (3) : 333-41, 2008.
- Schmidlein, M. C., C. Finch et S. L. Cutter, « Disaster Declarations and Major Hazard Occurrences in the United States », *Professional Geographer*, 60 (1) : 1-14, 2008.
- Schneider, V., P. Leifeld et T. Malang, « Coping with Creeping Catastrophes: The Capacity of National Political Systems in the Perception, Communication and Solution of Slow-moving and Long-term Policy Problems », document présenté à la conférence de Berlin sur les dimensions humaines du changement environnemental mondial : « Long-Term Policies: Governing Social-Ecological Change », Berlin, du 22 au 23 février, 2008.
- Sehring, J., « The Politics of Water Institutional Reform: A Comparative Analysis of Kyrgyzstan and Tajikistan », document présenté à la conférence de Berlin sur les dimensions humaines du changement environnemental mondial : « Resource Policies: Effectiveness, Efficiency and Equity », Berlin, du 17 au 18 novembre, 2006.
- Soderholm, P., « Environmental Policy in Transition Economies: Will Pollution Charges Work? », *Journal of Environment Development*, 10 (4) : 365-90, 2001.
- Sprinz, D. F., « Responding to Long-term Policy Challenges: Sugar Daddies, Airbus Solution or Liability? », *Ökologisches Wirtschaften* 2 : 16-19, 2008.
- Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2006.
- Sterner, T., *Policy Instruments for Environmental and Natural Resources Management*, Resources for the Future, Washington, 2003.
- Sternman, J. D. et L. B. Sweeney, « Understanding Public Complacency about Climate Change: Adults' Mental Models of Climate Change Violate Conservation of Matter », *Climatic Change* 80 (3-4) : 213-38, 2007.
- Swallow, B., M. van Noordwijk, S. Dewi, D. Murdiyarsa, D. White, J. Gockowski, G. Hyman, S. Budidarsono, V. Robiglio, V. Meadu, A. Ekadinata, F. Agus, K. Hairiah, P. Mabile, D. J. Sonwa et S. Weise, *Opportunities for Avoided Deforestation with Sustainable Benefit*, ASB Partnership for the Tropical Forest Margins, Nairobi, 2007.
- Torrás, M. et J. K. Boyce, « Income, Inequality and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve », *Ecological Economics* 25 (2) : 147-60, 1998.
- Tsebelis, G., *Veto Players: How Political Institutions Work*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2002.
- Tversky, A. et D. Kahneman, « Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases », *Science* 211 : 1 124-31, 1974.
- Vaughn-Switzer, J., *Environmental Politics*, St. Martin's Press, Londres, 1997.
- Vogel, D., *The Market for Virtue: The Potential and Limits of Corporate Social Responsibility*, Brookings Institution Press, Washington, 2005.
- Wade, R., *Governing the Market*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1990.
- Ward, B., *Communicating on Climate Change: An Essential Resource for Journalists, Scientists, and Educators*, Metcalf Institute for Marine and Environmental Reporting, University of Rhode Island Graduate School of Oceanography, Narragansett, 2008.
- Weber, E. U., « Experience-Based and Description-Based Perceptions of Long-Term Risk: Why Global Warming Does Not Sare Us (Yet) », *Climatic Change* 77 : 103-20, 2006.
- Wimberly, J., *Climate Change and Consumers: The Challenge Ahead*, EcoAlign, Washington, 2008.
- Winter, D. D. et S. M. Koger, *The Psychology of Environmental Problems*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, 2004.

Note bibliographique

Nombreux sont ceux qui, à la Banque mondiale et en dehors, ont fourni des conseils et des orientations à l'équipe. Nous sommes redevables de leurs commentaires et de leurs apports à Shardul Agrawala, Montek Singh Ahluwalia, Nilufar Ahmad, Kulsum Ahmed, Sadiq Ahmed, Ahmad Ahsan, Ulrika Åkesson, Mehdi Akhlaghi, Mozaharul Alam, Vahid Alavian, Harold Alderman, Sara Amiri, David Anderson, Simon Anderson, Ken Andrasko, Juliano Assunção, Giles Atkinson, Varadan Atur, Jessica Ayers, Abdulhamid Azad, Sushenjit Bandyopadhyay, Ian Bannon, Ellysar Baroudy, Rhona Barr, Scott Barrett, Wim Bastiaanssen, Daniel Benitez, Craig Bennett, Anthony Bigio, Yvan Biot, Jeppe Bjerg, Brian Blankespoor, Melinda Bohannon, Jan Bojo, Benoît Bosquet, Aziz Bouzaher, Richard Bradley, Milan Brahmhatt, Carter Brandon, Gernot Brodnig, Marjory-Anne Bromhead, Andrew Burns, Anil Cabraal, Duncan Callaway, Simon Caney, Karan Capoor, Jean-Christophe Carret, Raffaello Cervigni, Rita E. Cestti, Muyeye Chambwera, Vandana Chandra, David Chapman, Joelle Chassard, Flávia Chein Feres, Ashwini Chhatre, Kenneth Chomitz, David A. Cieslikowski, Hugh Compston, Luis Constantino, Jonathan Coony, Charles Cormier, Christophe Crepin, Richard Damania, Stephen Danyo, Michael Davis, Melissa Dell, Shantayanan Devarajan, Charles E. Di Leva, William J. Dick, Simeon Djankov, Carola Donner, Diletta Doretti, Krystel Dossou, Navroz Dubash, Hari Bansha Dulal, Mark Dutz, Jane Olga Ebinger, M. Willem van Eeghen, Nada Eissa, Siri Eriksen, Antonio Estache, James Warren Evans, Mandy Ewing, Pablo Fajnzylber, Charles Feinstein, Gene Feldman, Erick C. M. Fernandes, Daryl Fields, Christiana Figueres, Cyprian F. Fisiy, Ariel Fiszbein, Richard Fix, Paolo Frankl, Vicente Fretes Cibils, Alan Gelb, Francis Ghesquiere, Dolf Gielen, Indermit S. Gill, Habiba Gitay, Barry Gold, Itzhak Goldberg, Jan von der Goltz, Bernard E. Gomez, Arturo Gomez Pompas, Christophe de Gouvello, Chandrasekar Govindarajalu, Margaret Grosh, Michael Grubb, Arnulf Grübler, José Luis Guasch, Eugene Gurenko, Stéphane Hallegatte, Tracy Hart, Marea Eleni Hatziolos, Johannes Heister, Rasmus Heltberg, Fernando L. Hernandez, Jason Hill, Ron Hoffer, Daniel Hoornweg, Chris Hope, Nicholas Howard, Rafael de Hoyos, Veronika Huber, Vijay Iyer, Michael Friis Jensen, Peter Johansen, Todd Johnson, Torkil

Jonch-Clausen, Benjamin F. Jones, Ben Jones, Frauke Jungbluth, John David Kabasa, Ravi Kanbur, Tom Karl, Benjamin S. Karmorh, George Kasali, Roy Katayama, Andrzej Kędziora, Michael Keen, Kieran Kelleher, Claudia Kemfert, Karin E. Kemper, Qaiser Khan, Euster Kibona, Richard Klein, Masami Kojima, Auguste Tano Kouamé, Jarl Krausing, Holger A. Kray, Alice Kuegler, Norman Kuring, Yevgeny Kuznetsov, Christina Lakatos, Julian A. Lampietti, Perpetua Latasi, Judith Layzer, Danny Leipziger, Robert Lempert, Darius Lilaonwala, James A. Listorti, Feng Liu, Bertrand Loiseau, Laszlo Lovei, Magda Lovei, Susanna Lundstrom, Kathleen Mackinnon, Marília Magalhães, Olivier Mahul, Ton Manders, McKinsey & Company (Jeremy Oppenheim, Jens Dinkel, Per-Anders Enkvist, and Biniam Gebre), Marilia Telma Manjate, Michael Mann, Sergio Margulis, Will Martin, Ursula Martinez, Michel Matera, J. M. Mauskar, Siobhan McInerney-Lankford, Robin Mearns, Malte Meinshausen, Abel Mejía, Stephen Mink, Rogerio de Miranda, Lucio Monari, Paul Moreno López, Roger Morier, Richard Moss, Valerie Müller, Robert Muir-Wood, Enrique Murgueitio Restrepo, Siobhan Murray, Everhart Nangoma, Mudit Narain, John Nash, Vikram Nehru, Dan Nepstad, Michele de Nevers, Ken Newcombe, Brian Ngo, Carlo del Ninno, Andy Norton, Frank Nutter, Erika Odendaal, Ellen Olafsen, Ben Olken, Sanjay Pahuja, Alessandro Palmieri, Gajanand Pathmanathan, Nicolas Perrin, Chris Perry, Djordjija Petkoski, Tanyathon Phetmanee, Henry Pollack, Joanna Post, Neeraj Prasad, Tovondriaka Rakotobe, Nithya Ramanathan, V. Ramanathan, Nicola Ranger, Dilip Ratha, Keywan Riahi, Richard Richels, Brian Ricketts, Jeff Ritchie, Konrad von Ritter, David Rogers, Mattia Romani, Joyashree Roy, Eduardo Paes Saboia, Claudia Sadoff, Salman Salman, Jamil Salmi, Klas Sandler, Apurva Sanghi, Shyam Saran, Ashok Sarkar, John Scanlon, Hartwig Schäfer, Imme Scholz, Sebastian Scholz, Claudia Sepúlveda, Diwesh Sharan, Bernard Sheahan, Susan Shen, Xiaoyu Shi, Jas Singh, Emmanuel Skoufias, Leopold Some, Richard Spencer, Frank Sperling, Sir Nicholas Stern, Thomas Sterner, Andre Stochiol, Rachel Strader, Charlotte Streck, Ashok Subramanian, Vivek Suri, Joanna Syroka, Mark Tadross, Patrice Talla Takoukam, Robert P. Taylor, Dipti Thapa, Augusto de la Torre, Jorge E. Uquillas Rodas, Maria Vagliasindi, Hector Valdes, Rowena A. Valmonte-Santos, Trond Vedeld, Victor Vergara, Walter

Vergara, Tamsin Vernon, Juergen Voegele, Paul Waide, Alfred Jay Watkins, Kevin Watkins, Charlene Watson, Sam Wedderburn, Bill Westermeyer, David Wheeler, Johannes Woelcke, Henning Wuester, Winston Yu, Shahid Yusuf, N. Robert Zagha, Sumaya Ahmed Zakieldeen et Jürgen Zattler.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à ceux qui, partout dans le monde, ont participé aux consultations et nous ont fait part de leurs commentaires. Nous tenons aussi à remercier les blogueurs hôtes et les personnes qui ont formulé des commentaires sur notre blog « Development in a Changing Climate ».

Nous avons également reçu un appui précieux de Gytis Kanchas, Polly Means, Nacer Mohamed Megherbi, Swati Mishra, Prianka Nandy, Rosita Najmi, et Kaye Schultz. Anita Gordon, Merrell J. Tuck-Primdahl et Kavita Watsa ont aidé l'équipe dans le cadre des consultations et de la diffusion.

En dépit de tous nos efforts pour n'oublier personne, il se peut que nous ayons omis par inadvertance le nom de certains de ceux qui nous ont aidés. Nous tenons à nous en excuser et à réaffirmer notre reconnaissance envers tous ceux qui ont apporté leur contribution à la préparation du présent rapport.

Les auteurs du rapport se sont appuyés sur une large gamme de documents de la Banque mondiale et sur de nombreuses sources extérieures. Les documents de référence préparés expressément pour le Rapport sont disponibles sur le web, à l'adresse www.worldbank.org/wdr2010 ou peuvent être obtenus auprès du bureau du Rapport sur le développement dans le monde. Les opinions exprimés dans ces documents ne sont pas nécessairement celles de la Banque mondiale ou celles qui sont représentées dans le présent rapport.

Documents de référence

Atkinson, Giles, Kirk Hamilton, Giovanni Ruta et Dominique van der Mensbrugge, « Trade in 'Virtual Carbon': Empirical Results and Implications for Policy ».

Barnett, Jon et Michael Webber, « Accommodating Migration to Promote Adaptation to Climate Change ».

Benitez, Daniel, Ricardo Fuentes Nieva, Tomas Serebrisky et Quentin Wodon, « Assessing the Impact of Climate Change Policies in Infrastructure Service Delivery: A Note on Affordability and Access ».

Brown, Casey, Robyn Meeks, Yonas Ghile et Kenneth Hunu, « An Empirical Analysis of the Effects of Climate Variables on National Level Economic Growth ».

Caney, Simon, « Ethics and Climate Change ».

Dubash, Navroz, « Climate Change Through a Development Lens ».

Figueres, Christiana et Charlotte Streck, « Great Expectations: Enhanced Financial Mechanisms for Post-2012 Mitigation ».

Foa, Roberto, « Social and Governance Dimensions of Climate Change: Implications for Policy ».

Hallegatte, Stéphane, Patrice Dumas et Jean-Charles Hourcade, « A note on the economic cost of climate change and the rationale to limit it below 2°K ».

Hourcade, Jean-Charles et Franck Nadaud, « Long-run Energy Forecasting in Retrospect ».

Irwin, Tim, « Implications for Climate-change Policy of Research on Cooperation in Social Dilemmas ».

Liverani, Andrea, « Climate Change and Individual Behavior: Considerations for Policy ».

MacCracken, Mike, « Beyond Mitigation: Potential Options for Counter-Balancing the Climatic and Environmental Consequences of the Rising Concentrations of Greenhouse Gases ».

Meadowcroft, James, « Climate Change Governance ».

Mechler, Reinhard, Stefan Hochrainer, Georg Pflug, Keith Williges et Alexander Lotsch, « Assessing Financial Vulnerability to Climate-Related Natural Hazards ».

Norgaard, Kari, « Cognitive and Behavioral Challenges in Responding to Climate Change ».

Ostrom, Elinor, « A Polycentric Approach for Coping with Climate Change ».

Ranger, Nicola, Robert Muir-Wood et Satya Priya, « Assessing Extreme Climate Hazards and Options for Risk Mitigation and Adaptation in the Developing World ».

Shalizi, Zmarak et Franck Lecocq, « Climate Change and the Economics of Targeted Mitigation in Sectors with Long-lived Capital Stock ».

Strand, Jon, « 'Revenue Management' Effects of Climate Policy-Related Financial Flows ».

Thornton, Philip, « The Inter-linkages between Rapid Growth in Livestock Production, Climate Change, and the Impacts on Water Resources, Land Use, and Deforestation ».

Watson, Charlene et Samuel Fankhauser, « The Clean Development Mechanism: Too Flexible to Produce Sustainable Development Benefits? ».

Notes de référence

Benitez, Daniel et Natsuko Toba, « Transactional Costs and Marginal Abatement Costs », « Review of Energy Efficiency Policies », « Promoting Energy Efficiency: Issues and Lessons Learned ».

Beringer, Tim et Wolfgang Lucht, « Second Generation Bioenergy Potential ».

Estache, Antonio, « Public Private Partnerships for Climate Change Investments: Learning from the Infrastructure PPP Experience ».

Estache, Antonio, « What Do We Know Collectively about the Need to Deal with Climate Change? ».

Estache, Antonio, « How Should the Nexus between Economic and Environmental Regulation Work for Infrastructure Services? ».

Füssel, Hans-Martin, « Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts ».

Füssel, Hans-Martin, « The Risks of Climate Change: A Synthesis of New Scientific Knowledge Since the Finalization of the IPCC Fourth Assessment Report ».

Gerten, Dieter et Stefanie Rost, « Climate Change Impacts on Agricultural Water Stress and Impact Mitigation Potential ».

Haberl, Helmut, Karl-Heinz Erb, Fridolin Krausmann, Veronika Gaube, Simone Gingrich et Christof Plutzer, « Quantification of the Intensity of Global Human Use of Ecosystems for Biomass Production ».

Hamilton, Kirk, « Delayed Participation in a Global Climate Agreement ».

Harris, Nancy, Stephen Hagen, Sean Grimland, William Salas, Sassan Saatchi et Sandra Brown, « Improvement in Estimates of Land-Based Emissions ».

Heyder, Ursula, « Ecosystem Integrity Change as Measured by Biome Change ».

Hoornweg, Daniel, Perinaz Bhada, Mila Freire et Rutu Dave, « An Urban Focus—Cities and Climate Change ».

Houghton, Richard, « Emissions of Carbon from Land Management ».

Imam, Bisher, « Waters of the World ».

Lotze-Campen, Hermann, Alexander Popp, Jan Philipp Dietrich et Michael Krause, « Competition for Land between Food, Bioenergy, and Conservation ».

Louati, Mohamed El Hedi, « Tunisia's Experience in Water Resource Mobilization and Management ».

Meinzen-Dick, Ruth, « Community Action and Property Rights in Land and Water Management ».

Müller, Christoph, Alberte Bondeau, Alexander Popp, Katharina Waha et Mariana Fader, « Climate Change Impacts on Agricultural Yields ».

Rabie, Tamer et Kulsum Ahmed, « Climate Change and Human Health ».

Ramanathan, N., I. H. Rehman et V. Ramanathan, « Project Surya: Mitigation of Global and Regional Climate Change: Buying the Planet Time by Reducing Black Carbon, Methane, and Ozone ».

Rogers, David, « Environmental Information Services and Development ».

Vagliasindi, Maria, « Climate Change Uncertainty, Regulation and Private Participation in Infrastructure ».

Westermeyer, William, « Observing the Climate for Development ».

Glossaire

Adaptation : Ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques. On distingue divers types d'adaptation, notamment l'adaptation anticipée et réactive, l'adaptation autonome et planifiée et l'adaptation publique et privée.

Additionalité : Dans le contexte du Mécanisme pour un développement propre (MDP), il y a additionalité si les émissions de carbone générées par un projet ont pour contrepartie des réductions d'émission additionnelles à celles qui se produiraient en l'absence des incitations financières et techniques du mécanisme MDP. Le niveau des émissions qu'aurait produites une activité en l'absence d'un projet du MDP est le niveau de référence par rapport auquel l'additionalité est mesurée. La création et la vente de contreparties d'émissions de carbone provenant d'un projet MDP ne produisant pas d'additionalité peut entraîner un accroissement des émissions dans l'atmosphère par rapport aux émissions qui auraient été enregistrées si l'acquéreur potentiel de la contrepartie avait, en fait, réduit ses propres émissions, sur son territoire.

Anthropique : Directement causé par l'activité humaine. Par exemple, la combustion de combustibles fossiles pour produire de l'énergie entraîne des émissions de GES anthropiques, tandis que la décomposition naturelle de la végétation est source d'émissions non anthropiques.

Apprentissage social : Processus par lequel une personne apprend un nouveau comportement par suite d'un renforcement direct ou d'une punition, ou bien en observant d'autres intervenants sociaux dans leur environnement. Lorsqu'une personne note que le comportement particulier d'autres individus produit des résultats positifs et souhaitables, elle est davantage encline à prendre ce comportement comme modèle, à le reproduire et à l'adopter.

Assurance climatique basée sur un indice : Assurance donnant lieu au versement d'une indemnité lorsque l'indice retenu pour un paramètre météorologique déterminé atteint des valeurs préétablies, sur une période de temps également préétablie, dans une station météorologique particulière. Le produit d'assurance peut être conçu de manière à

fournir une protection à l'assuré lorsque l'indice atteint des valeurs qui sont tellement élevée ou tellement faibles qu'elles devraient se traduire par des pertes de récolte. L'indemnité est calculée sur la base de la somme prédéterminée par unité de l'indice (par exemple USD/millimètre de pluie).

Atténuation : Intervention anthropique pour réduire les émissions ou renforcer les puits de gaz à effet de serre.

Bien public : Bien présentant la double caractéristique de non-exclusion (il est impossible d'empêcher quiconque d'en profiter) et de non-rivalité (les avantages qu'en tire une personne ne diminue nullement les avantages que peuvent en tirer d'autres personnes). L'atténuation du changement climatique est un exemple de bien public : il serait en effet impossible d'empêcher un individu ou un État de jouir des avantages de la stabilisation du climat, et les avantages procurés par cette stabilisation du climat à un individu ne réduit en rien les avantages que d'autres personnes peuvent en tirer.

Biocombustible : Combustible obtenu à partir de matière organique sèche ou d'huiles combustibles d'origine végétale. L'alcool, la boue noire résultant du processus de fabrication du papier, le bois et l'huile de soja sont des exemples de biocombustibles. *Biocombustibles de la deuxième génération* : produits comme l'éthanol et le biodiesel obtenus par l'application de processus chimiques ou biologiques à des matières ligneuses.

Biodiversité : Variété de toutes les formes de vie, notamment des gènes, des populations, des espèces et des écosystèmes.

Boisement : Plantation de nouvelles forêts sur des terres qui n'en ont jamais été couvertes ou ne l'ont pas été récemment.

Capacité d'adaptation : Capacité d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'exploiter les opportunités, d'atténuer les effets potentiels ou de faire face aux conséquences.

Capacité de survie : Capacité des êtres humains, des organisations et des systèmes à faire face à des conditions défavorables, des situations d'urgence ou des catastrophes et à gérer ces dernières avec les compétences et les ressources

disponibles. Il s'agit de la capacité immédiate de riposte à un phénomène, tandis que la capacité d'adaptation est la capacité de procéder à long terme à des changements systémiques pour réduire l'impact du changement climatique.

Coefficient de Gini : coefficient couramment employé pour mesurer le degré d'inégalité de la répartition des revenus ou du patrimoine, dont la valeur est comprise entre 0 (égalité totale) et 1.

Complémentarité : Le Protocole de Kyoto dispose que les échanges de droits d'émission et les activités de mise en œuvre conjointe doivent venir en complément des mesures prises au niveau national (telles que l'imposition de taxes sur l'énergie, de normes de rendement énergétique) par les pays développés pour réduire leur émissions de GES. Conformément aux termes de certaines des définitions proposées pour la complémentarité, les pays développés pourraient être tenus de réaliser sur leur propre territoire une proportion déterminée des réductions d'émission qu'ils ont pour objectif. Ce point doit faire l'objet de plus amples débats et être précisé par les parties.

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) : Convention adoptée en mai 1992 qui a pour objectif ultime de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

Coûts de transaction : Coûts associés à l'échange de biens et services qui viennent s'ajouter au coût monétaire ou au prix des biens et services échangés. Il s'agit, par exemple, des coûts de recherche et d'information ou des coûts de contrôle et d'application des règlements.

Dégradation des forêts : Réduction de la biomasse forestière par suite de pratiques forestières ou d'utilisation des terres non durables, telles que coupes d'arbres, brûlis et autres perturbations anthropiques.

Dépollution / voir atténuation

Dérivé climatique : Instrument financier employé pour réduire le risque lié à des conditions météorologiques défavorables, par exemple, en donnant lieu au versement d'une indemnité si un phénomène météorologique déterminé se produit (tel qu'un mois d'août inhabituellement froid ou chaud).

Descente d'échelle : Méthode permettant de tirer des informations à l'échelle locale ou régionale (10 à 100 km) de modèles de projections climatiques ou d'analyses de données à plus grande échelle (200 km et plus). Le processus de descente d'échelle dynamique consiste à utiliser les modèles à haute résolution établis pour une région particulière dans le contexte d'un modèle global à grande échelle ; le processus

de descente d'échelle statistique utilise des relations statistiques entre les variables atmosphériques à grande échelle et les variables climatiques locales et régionales.

Dioxyde de carbone (CO₂) : Gaz qui se produit naturellement et qui est également le produit dérivé de la combustion de combustibles fossiles (gisements de carbone fossile, comme le pétrole, le gaz et le charbon), de la combustion de la biomasse, de changements d'affectation des terres et de plusieurs processus industriels. C'est le principal gaz à effet de serre anthropique qui influe sur le bilan radiatif de la terre. Il sert de référence pour la mesure d'autres gaz à effet de serre et il a donc un potentiel de réchauffement mondial de 1.

Droits de la propriété intellectuelle : Droits de propriété reconnus par la loi sur les créations artistiques et commerciales, notamment les brevets relatifs aux nouvelles technologies, et les domaines juridiques correspondants.

Eau virtuelle : Quantité d'eau directement ou indirectement consommée dans le cadre de la production d'un bien ou d'un service.

Empreinte carbone : Quantité d'émissions de carbone associée à une activité particulière ou à l'ensemble des activités d'une personne ou d'une organisation. Il est possible de mesurer l'empreinte carbone de nombreuses manières, notamment en considérant les émissions indirectes générées tout au long de la chaîne de production des intrants d'une activité.

Entraînement par le marché : Allocation de ressources à la recherche et au développement (R-D) en fonction de la demande de produits et services sur le marché, et non pour des motifs d'intérêt scientifique ou par suite de décisions de l'État.

Équivalent-CO₂ (CO₂e) : Manière d'exprimer la quantité d'un mélange de différents gaz à effet de serre. À volume égal, les différents gaz à effet de serre contribuent dans une mesure différente au réchauffement planétaire ; par exemple, l'émission d'une quantité donnée de méthane dans l'atmosphère a un effet de réchauffement environ 20 fois plus élevé que l'émission de la même quantité de dioxyde de carbone. CO₂e représente la quantité d'un mélange de gaz à effet de serre équivalent à la quantité de CO₂ qui produirait le même réchauffement que le mélange de gaz. Les émissions (flux) comme les concentrations (stocks) de gaz à effet de serre peuvent être exprimées en CO₂e. Il est également possible d'exprimer une quantité de gaz à effet de serre en son équivalent carbone en multipliant la quantité de CO₂e par 12/44.

Évaluation des risques : Méthode standardisée couvrant l'identification, la quantification, la réduction et l'atténuation des risques.

Évaluation intégrée : Méthode d'analyse qui combine les résultats et les modèles des sciences physiques, biologiques, économiques et sociales, et les interactions entre ces composantes en un cadre cohérent afin de permettre l'établissement de projections des conséquences du changement climatique et des actions publiques qui peuvent être menées pour y faire face.

Évapotranspiration : Phase importante du cycle de l'eau qui combine l'évaporation de la surface de la terre (de sources telles que le sol et les masses d'eau) et de la transpiration de la végétation (perte d'eau par les plantes par évaporation, essentiellement au niveau des feuilles).

Fertilisation par le dioxyde de carbone :

Amélioration de la croissance des végétaux à la suite de l'augmentation de la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂). Selon leur processus de photosynthèse, certains types de plantes sont plus sensibles aux changements de la concentration atmosphérique de CO₂.

Filet de sécurité : Mécanisme conçu pour protéger les individus de l'impact de chocs dus, par exemple, à des inondations, à la sécheresse, au chômage, à la maladie ou au décès du soutien de famille.

Fonction de dommage : Dans le contexte du changement climatique, cette fonction décrit la relation entre les modifications du climat et la réduction de la production ou de la consommation, ou encore la perte d'actifs (qui pourraient inclure la santé des écosystèmes ou la santé des populations).

Fonds d'adaptation : Le Fonds d'adaptation a été constitué pour financer des projets et des programmes d'adaptation concrets dans les pays en développement qui sont Parties au Protocole de Kyoto. Le Fonds est financé par une partie des ressources du Mécanisme de développement propre (MDP) ainsi que des fonds d'autres sources.

Fuite : Dans le contexte du changement climatique, processus par lequel les émissions augmentent à l'extérieur de la zone couverte par un projet d'atténuation par suite des activités de réduction des émissions à l'intérieur de ladite zone, ce qui a pour effet de réduire l'efficacité du projet.

Gaz à effet de serre (GES) : Tout gaz de l'atmosphère qui entraîne un changement climatique en retenant la chaleur du soleil dans l'atmosphère de la Terre et donc, en causant un effet de serre. Les gaz à effet de serre les plus courants sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃), et la vapeur d'eau (H₂O).

Géo-ingénierie : Application de moyens d'ingénierie à grande échelle à l'environnement pour lutter contre les effets du changement climatique ou pour contrer ces effets. Les mesures proposées consistent, notamment, à injecter des particules dans la haute atmosphère pour refléter la lumière

du soleil et à fertiliser les océans avec du fer pour accroître la fixation de CO₂ par des algues.

Gestion évolutive : Processus systématique suivi pour améliorer continuellement les politiques et les pratiques de gestion en tirant les enseignements de l'application des politiques et pratiques antérieures dans le cadre d'une démarche clairement expérimentale.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) : Constitué en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le GIEC évalue les études scientifiques et techniques mondiales et publie des rapports d'évaluation qui, de l'avis général, sont les sources d'information les plus crédibles sur le changement climatique. Le GIEC prépare aussi des méthodologies et répond à des demandes précises des organes subsidiaires de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Le GIEC est indépendant de la CCNUCC.

Incertitude : Expression de la mesure dans laquelle une valeur (l'état futur du système climatique, par exemple) est inconnue. L'incertitude peut être due à un manque d'informations ou à un désaccord sur ce qui est connu, voire sur ce qui peut être connu. Elle peut avoir des origines diverses, depuis des erreurs quantifiables au niveau des données jusqu'à des projections incertaines du comportement humain. L'incertitude peut donc être représentée par des mesures quantitatives, par exemple, une fourchette de valeurs calculées par divers modèles, ou par des énoncés qualitatifs, reflétant l'opinion d'un groupe d'experts. En économie, toutefois, l'incertitude s'entend de l'incertitude knightienne, qui est incommensurable ; elle diffère donc du risque dans le cas duquel la réalisation de certains événements est associée à une distribution de probabilité qui peut être connue.

Innovation : Création, assimilation ou exploitation d'un produit ou service, méthode ou processus nouvellement conçu ou ayant fait l'objet d'améliorations notables.

Institutions : Structures et mécanismes d'ordre social et de coopération régissant le comportement d'un ensemble d'individus.

Intensité de carbone : De manière générale, quantité de carbone ou de CO₂ émise par unité de PIB dans une économie. Il peut s'agir de la quantité de carbone émise par unité d'activité, par exemple, la production brute ou la valeur ajoutée d'une entreprise particulière, ou bien de la quantité de carbone émise par unité d'énergie ou de combustible consommée.

Mauvaise adaptation : Activités ou actions qui augmentent la vulnérabilité au changement climatique.

Mécanisme de plafonnement et d'échange : Démarche faisant appel à la fois au marché et à la réglementation pour maîtriser les émissions polluantes. Une limite globale (plafond) est fixée pour les émissions pendant une période de temps déterminée, et les différentes parties reçoivent des permis (par allocation directe ou par voie d'enchères) qui leur donnent, sur le plan juridique, le droit d'avoir des émissions polluantes à hauteur de la quantité établie par les permis qu'ils détiennent. Lesdites parties sont libres d'échanger leurs permis d'émissions, les échanges correspondants pouvant être sources de gains si le coût marginal d'atténuation de la pollution est différent selon les parties.

Mécanisme pour un développement propre (MDP) : Mécanisme établi dans le cadre du Protocole de Kyoto par l'intermédiaire duquel les pays développés peuvent financer des projets de réduction ou d'élimination d'émissions de gaz à effet de serre dans des pays en développement, en échange de quoi ils reçoivent des crédits qu'ils peuvent utiliser pour remplir leurs engagements concernant le respect des limites imposées à leurs propres émissions. Le MDP permet de poursuivre des projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans des pays signataires du Protocole pour lesquels aucun objectif d'émission n'a été établi.

Mesures doublement (triple) bénéfiques : Dans le présent rapport, mesures propices à l'adaptation et à l'atténuation (et au développement).

Normes sociales : Valeurs implicites ou explicites, croyances et règles adoptées par un groupe pour assurer l'autorégulation des comportements par le biais de pressions par les pairs ; critères sur la base desquels les individus déterminent si un comportement est acceptable ou inacceptable.

Parties visées à l'Annexe I : Groupe constitué par les pays industrialisés qui étaient membres de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) en 1992 et par des économies en transition (Parties en transition), notamment la Fédération de Russie, les États baltes et plusieurs pays d'Europe de l'Est et d'Europe centrale. Les membres de ce groupe se sont engagés à limiter leurs émissions de gaz à effet de serre. *Parties non visées à l'Annexe I :* groupe constitué principalement de pays en développement qui n'ont pas pris un tel engagement mais qui, en revanche, reconnaissent qu'ils ont pour obligation générale d'élaborer et de mettre en œuvre des programmes d'action nationaux à des fins d'atténuation et d'adaptation.

Période de retour : Durée séparant les occurrences d'un phénomène particulier.

Perte de bien-être collectif : Coût qui n'a pour contrepartie aucun avantage.

Piégeage : Dans le contexte climatique, processus consistant à enlever le carbone de l'atmosphère et à le stocker dans des

réservoirs tels que de nouvelles forêts, le sol ou des réservoirs souterrains. Les *méthodes biologiques de piégeage* consistent à éliminer le CO₂ de l'atmosphère pour le stocker dans des matières organiques par les changements d'affectation des terres, le boisement, le reboisement, le stockage de carbone dans des décharges et des pratiques agricoles qui augmentent le carbone présent dans le sol.

Piégeage et stockage de carbone (PSC) : Processus consistant à séparer le CO₂ de ses sources industrielles ou énergétiques, à le transporter dans un lieu de stockage et à l'isoler de l'atmosphère sur le long terme.

Plan d'action de Bali : Plan sur deux ans lancé à la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques tenue en 2007 à Bali (Indonésie) dans le but de négocier une action concertée à long terme au-delà de 2010 et de parvenir à un commun accord à un résultat au Danemark à la fin de 2009. Le plan comporte quatre grands axes : atténuation, adaptation, financement et technologie.

Prélèvement net d'eau : Quantité d'eau extraite des ressources disponibles qui n'est pas rejetée dans un système de ressources en eau (par exemple, quantité d'eau utilisée dans le cadre d'activités manufacturières ou agricoles et de la préparation d'aliments qui n'est pas renvoyée dans un circuit, une rivière ou une station d'épuration).

Principe de précaution : Principe selon lequel, en l'absence de certitude scientifique qu'une action ou une politique ne causera pas de perturbation grave ou irréversible, c'est à ceux qui prônent ladite action ou ladite politique qu'il appartient d'en fournir la preuve. Dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), l'Article 3 stipule, notamment, qu'il incombe aux Parties de prendre des mesures de précaution pour prévoir, prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques et en limiter les effets néfastes. Quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de telles mesures, étant entendu que les politiques et mesures qu'appellent les changements climatiques requièrent un bon rapport coût-efficacité, de manière à garantir des avantages globaux au coût le plus bas possible.

Principe pollueur-payeur : Principe relevant du droit de l'environnement selon lequel le pollueur doit assumer le coût de la pollution. Le pollueur doit ainsi assumer le coût des mesures de prévention et de lutte contre la pollution.

Prise de décision robuste : Face aux incertitudes, choix non pas de la mesure ou de la politique qui serait optimale dans le monde tel qu'il se présentera probablement à l'avenir, mais de la mesure ou de la politique qui serait acceptable dans toute une gamme de conditions futures possibles. Ce processus de prise de décision donne lieu à l'évaluation des

options considérées pour déterminer comment minimiser les regrets dans le cadre de différents modèles, hypothèses et fonctions de pertes considérés, et non pas maximiser les rendements dans le contexte d'un avenir unique probable.

Projet « sans regrets » : Dans le contexte du changement climatique, projet ayant des avantages nets sur le plan social et/ou économique, qu'il ait ou non un impact sur le climat ou que le climat ait ou non un impact sur le projet.

Programmes d'action nationaux pour l'adaptation (PANA) : Documents préparés par les pays les moins avancés (PMA) identifiant les activités à mener pour répondre aux besoins urgents et immédiats d'adaptation au changement climatique.

Protection sociale : Ensemble d'interventions publiques ayant pour objet de fournir un appui aux membres les plus pauvres et les plus vulnérables de la société, et d'aider les individus, les familles et les communautés à gérer le risque. Ces interventions peuvent revêtir la forme de programmes d'assurance chômage, de garantie de ressources, et de services sociaux.

Protocole de Kyoto : Accord lié à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) adopté en 1997 à Kyoto (Japon) par les parties à la CCNUCC. Le Protocole contient des engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre par les pays développés qui ont force obligatoire.

Puits de carbone : Tout processus, activité ou mécanisme qui élimine du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Les forêts et autres types de végétation sont considérés comme des puits car ils éliminent le dioxyde de carbone par photosynthèse.

RDD-D : Recherche, développement, démonstration et déploiement de nouvelles méthodes, technologies, matériels et produits.

Réassurance : Transfert d'une partie des risques d'assurance primaire à des assureurs secondaires (réassureurs) ; fondamentalement « assurance pour assureurs ».

Reboisement : Plantation de forêts sur des terres qui ont autrefois contenu des forêts mais qui ont été transformées en vue d'une autre affectation.

Réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) : REDD est une initiative caractérisée par un ensemble d'actions visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre au niveau des terres boisées. Les incitations financières du programme REDD pourraient être un élément de l'action publique menée face au changement climatique.

Résistance : Aptitude d'un système social ou écologique à absorber des perturbations tout en maintenant la même

structure fondamentale et les mêmes manières de fonctionner, capacité d'auto-organisation, et capacité d'adaptation au stress et au changement.

Rétroaction positive : Mécanisme par lequel une variable d'un système déclenche des changements au niveau d'une deuxième variable qui, à son tour, influe sur la variable initiale : une rétroaction positive renforce l'effet initial, et une rétroaction négative le réduit.

Scénarios du RSSE : Séries de descriptions ou de canevas de conditions futures utilisées dans les modèles concernant le changement climatique établis pour le GIEC. Ces scénarios servent à établir des projections des émissions futures sur la base d'hypothèses relatives à l'évolution démographique, technologique et sociétale. Quatre familles de scénarios forment l'ensemble des scénarios du RSSE : A1, A2, B1 et B2. A1 décrit un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. A2 décrit un monde très hétérogène un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres canevas. B1 décrit un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le canevas A1, mais avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. Enfin, B2 décrit un monde où l'accent est placé sur des solutions locales dans le sens de la viabilité économique, sociale et environnementale. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2, il y a des niveaux intermédiaires de développement économique.

Sensibilité du climat : Changements de la température moyenne mondiale à la surface à la suite d'un doublement de la concentration de CO₂e atmosphérique. Paramètre essentiel à l'utilisation des projections des émissions pour établir des projections de réchauffement et, par conséquent, des impacts.

Services des écosystèmes : Processus ou fonctions des écosystèmes qui ont une valeur pour les individus ou pour la société, par exemple la fourniture de produits alimentaires, la purification de l'eau et des opportunités d'activités récréatives. **Seuil :** Dans le contexte du changement climatique, niveau au dessus duquel des changements soudains ou rapides se produisent.

Solaire photovoltaïque : Domaine des technologies et de la recherche portant sur la conversion directe de la lumière solaire, notamment les radiations ultraviolettes, en électricité ; technologie employée pour créer et utiliser les cellules solaires qui composent les panneaux solaires.

Stationnarité : Idée que les systèmes naturels fluctuent à l'intérieur d'une enveloppe constante de variabilité définie par la gamme des expériences antérieures.

Stimulation par la technologie : Allocation de ressources de R-D essentiellement pour des raisons d'intérêt purement scientifique et non en réponse à la demande du marché.

Système d'alerte avancée : Mécanisme permettant de générer et de diffuser en temps opportun des avertissements pertinents pour permettre aux individus, aux communautés et aux organisations menacées par un risque de se préparer et de prendre les dispositions nécessaires suffisamment à l'avance pour réduire la possibilité d'impacts négatifs ou de pertes.

Taux d'actualisation : Taux d'arbitrage entre la consommation ou le bien-être au moment présent et la consommation ou le bien-être à une date future des individus ou des entreprises ; il est généralement exprimé en pourcentage.

Taxe verte : Taxe ayant pour objet d'accroître la qualité de l'environnement en imposant les actions qui lui sont nuisibles.

Transfert de technologies : Processus d'échange de compétences, de connaissances, de technologies et de procédés de fabrication ayant pour objet d'assurer que les avancées

scientifiques et technologiques sont accessibles à une plus large gamme d'utilisateurs.

Unités de quantité attribuées (UQA) : Volume total des gaz à effet de serre – mesuré en tonnes de CO₂e – que chaque pays visé à l'Annexe I est autorisé à émettre durant la première phase du Protocole de Kyoto.

Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCAFT) : Ensemble d'activités comprenant l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et les activités de foresterie dues à l'homme qui entraînent l'émission et l'élimination de gaz à effet de serre de l'atmosphère. Catégorie utilisée pour les rapports sur les inventaires de gaz à effet de serre.

Verrouillage d'émissions de carbone : Actions qui perpétuent un niveau d'émissions de carbone donné. Par exemple, l'expansion des réseaux routiers et autoroutiers a généralement pour effet de verrouiller des émissions de carbone provenant de la consommation de combustible fossiles pendant plusieurs dizaines d'années à moins que des mesures compensatoires ne soient prises pour limiter la consommation de carburant ou l'utilisation de véhicules.

Vulnérabilité (climatique) : Mesure dans laquelle un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation.

Grands indicateurs

- Tableau A1 Émissions de sources énergétiques et intensité de carbone
- Tableau A2 Émissions d'origine terrestre
- Tableau A3 Approvisionnement total en énergie primaire
- Tableau A4 Catastrophes naturelles
- Tableau A5 Terres, eau et agriculture
- Tableau A6 Patrimoine des Nations
- Tableau A7 Innovation, recherche et développement
- Sources et définitions

Grands indicateurs du développement dans le monde

- Introduction
- Classification des économies par région et par niveau de revenu, Ex. 10
- Tableau 1 Principaux indicateurs du développement
- Tableau 2 Pauvreté
- Tableau 3 Objectifs de développement pour le Millénaire : Éradiquer la pauvreté et améliorer les conditions de vie
- Tableau 4 Activité économique
- Tableau 5 Commerce, aide et flux financiers
- Tableau 6 Principaux indicateurs pour les autres économies
- Notes techniques

Tableau A2 Émissions d'origine terrestre
Tableau A2a Émissions de CO₂ associées au déboisement

| | Moyenne annuelle | | | | Proportion moyenne du total |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | Émissions totales | | Par habitant | | |
| | Tonnes métriques (millions) | Classement | Tonnes métriques | Classement | % |
| | 1990-2005 ^a | 1990-2005 ^a | 1990-2005 ^a | 1990-2005 ^a | 1990-2005 ^a |
| Argentine | 33 | 25 | 0,9 | 48 | 0,6 |
| Bolivie | 139 | 7 | 15,2 | 1 | 2,5 |
| Brésil | 1 830 | 1 | 9,8 | 5 | 32,4 |
| Cambodge | 84 | 10 | 6,0 | 13 | 1,5 |
| Cameroun | 70 | 12 | 3,9 | 18 | 1,2 |
| Canada | 70 | 12 | 2,2 | 29 | 1,2 |
| Chine | 57 | 18 | 0,0 | 83 | 1,0 |
| Congo, Rép. dém du | 176 | 4 | 3,0 | 24 | 3,1 |
| Équateur | 84 | 10 | 6,5 | 12 | 1,5 |
| Guatemala | 62 | 16 | 4,9 | 17 | 1,1 |
| Honduras | 48 | 20 | 7,0 | 10 | 0,8 |
| Indonésie | 1 459 | 2 | 6,6 | 11 | 25,9 |
| Malaisie | 139 | 7 | 5,4 | 15 | 2,5 |
| Mexique | 40 | 23 | 0,4 | 63 | 0,7 |
| Myanmar | 158 | 5 | 3,3 | 20 | 2,8 |
| Nigeria | 158 | 5 | 1,1 | 40 | 2,8 |
| Papouasie-Nouvelle-Guinée | 44 | 21 | 7,2 | 8 | 0,8 |
| Pérou | 70 | 12 | 2,6 | 27 | 1,2 |
| Philippines | 70 | 12 | 0,8 | 50 | 1,2 |
| Russie, Fédération de | 58 | 17 | 0,4 | 61 | 1,0 |
| Tanzanie | 51 | 19 | 1,3 | 35 | 0,9 |
| Tunisie | 34 | 24 | 0,5 | 58 | 0,6 |
| Venezuela, R. B. du | 187 | 3 | 7,0 | 9 | 3,3 |
| Zambie | 106 | 9 | 9,3 | 6 | 1,9 |
| Zimbabwe | 40 | 22 | 3,1 | 22 | 0,7 |

a. Valeurs moyennes sur la période 1990-2005.

Tableau A2b Émissions de gaz autres que le CO₂ (Méthane [CH₄], oxyde d'azote [N₂O]) associées à l'agriculture

| | Total annuel | | Proportion du total | | Par habitant | | |
|-----------------------|--|-------|---------------------|-------------------------------------|--------------|------|------|
| | Tonnes d'équivalent-CO ₂ (millions) | | % | Tonnes d'équivalent-CO ₂ | | Rang | |
| | 1990 | 2005 | 2005 | 1990 | 2005 | 1990 | 2005 |
| Allemagne | 110 | 84 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 32 | 37 |
| Argentine | 114 | 139 | 2,3 | 3,5 | 3,6 | 6 | 7 |
| Australie | 97 | 110 | 1,8 | 5,7 | 5,4 | 4 | 4 |
| Bangladesh | 60 | 80 | 1,3 | 0,5 | 0,5 | 77 | 70 |
| Bolivie | 22 | 46 | 0,8 | 3,3 | 5,0 | 7 | 5 |
| Brésil | 426 | 591 | 9,7 | 2,9 | 3,2 | 8 | 8 |
| Canada | 57 | 73 | 1,2 | 2,1 | 2,3 | 15 | 10 |
| Chine | 905 | 1 113 | 18,3 | 0,8 | 0,9 | 62 | 48 |
| Colombie | 61 | 89 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 19 | 11 |
| Congo, Rép. dém du | 36 | 75 | 1,2 | 0,9 | 1,3 | 53 | 21 |
| États-Unis | 427 | 442 | 7,3 | 1,7 | 1,5 | 20 | 17 |
| Éthiopie | 39 | 55 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 60 | 58 |
| France | 110 | 103 | 1,7 | 1,9 | 1,7 | 18 | 15 |
| Inde | 330 | 403 | 6,6 | 0,4 | 0,4 | 84 | 83 |
| Indonésie | 106 | 132 | 2,2 | 0,6 | 0,6 | 73 | 66 |
| Mexique | 67 | 77 | 1,3 | 0,8 | 0,7 | 61 | 57 |
| Myanmar | 50 | 78 | 1,3 | 1,2 | 1,6 | 38 | 16 |
| Nigeria | 75 | 115 | 1,9 | 0,8 | 0,8 | 63 | 52 |
| Pakistan | 58 | 79 | 1,3 | 0,5 | 0,5 | 76 | 73 |
| Royaume-Uni | 54 | 48 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 57 | 54 |
| Russie, Fédération de | 222 | 118 | 1,9 | 1,5 | 0,8 | 25 | 50 |
| Thaïlande | 79 | 89 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 27 | 18 |
| Tunisie | 80 | 76 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 29 | 31 |
| Venezuela, R. B. du | 47 | 52 | 0,9 | 2,4 | 1,9 | 11 | 12 |
| Viet Nam | 48 | 65 | 1,1 | 0,7 | 0,8 | 67 | 55 |

Tableau A5 Terres, eau et agriculture

| | | | | Projections des impacts matériels à l'horizon 2050 | | | | Projections des impacts agricoles | |
|-------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------|--|--|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| | Terres arables | Proportion des terres irriguées | Production aquacole | Évolution des températures | Changement de la durée des vagues de chaleur | Précipitations | Intensité des précipitations | Production agricole | Rendement agricole |
| | | | | | | | | | |
| | 2005 | 2003 | 2007 | 2000-2050 | 2000-2050 | 2000-2050 ^a | 2000-2050 ^a | 2000-2080 ^a | 2000-2050 ^a |
| Afrique du Sud | 14,8 | 9,5 | 33,3 | 1,5 | 9,5 | -4,5 | 1,4 | -33,4 | -5,2 |
| Algérie | 7,5 | 6,9 | 0,9 | 1,9 | 22,2 | -4,9 | 7,2 | -36,0 | -6,7 |
| Allemagne | 11,9 | 4,0 | 191,1 | 1,5 | 14,8 | 2,4 | 5,0 | -2,9 | 9,5 |
| Arabie Saoudite | 3,5 | 42,7 | 186,4 | 1,8 | 13,9 | -10,5 | 1,8 | -21,9 | -28,3 |
| Argentine | 28,5 | .. | 16,7 | 1,2 | 5,9 | 0,7 | 3,5 | -11,1 | -13,8 |
| Australie | 49,4 | 5,0 | 478,8 | 1,5 | 10,9 | -1,4 | 2,1 | -26,6 | -16,4 |
| Bangladesh | 8,0 | 56,1 | 1 522,6 | 1,4 | 8,7 | 1,4 | 5,4 | -21,7 | 8,9 |
| Bélarus | 5,5 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 28,8 | 2,7 | 4,9 | .. | 29,6 |
| Bolivie | 3,1 | 4,1 | 2,0 | 1,6 | 16,4 | -0,9 | 2,5 | .. | -13,7 |
| Brésil | 59,0 | 4,4 | 598,0 | 1,5 | 13,5 | -2,0 | 3,0 | -16,9 | -16,1 |
| Bulgarie | 3,2 | 16,6 | 18,2 | 1,7 | 27,2 | -4,3 | 3,0 | .. | -7,0 |
| Burkina Faso | 4,8 | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 5,7 | 0,3 | 0,0 | -24,3 | -4,4 |
| Cambodge | 3,7 | 7,0 | 7,6 | 1,2 | 4,0 | 3,3 | 1,7 | -27,1 | -19,3 |
| Cameroun | 6,0 | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 2,0 | 0,9 | 3,0 | -20,0 | -6,6 |
| Canada | 45,7 | 1,5 | 788,2 | 2,1 | 28,2 | 8,5 | 4,9 | -2,2 | 19,5 |
| Chili | 2,0 | 81,0 | 5 314,5 | 1,2 | 4,9 | -3,5 | 1,2 | -24,4 | 47,7 |
| Chine | 143,3 | 35,6 | 44 935,2 | 1,7 | 16,1 | 4,5 | 5,4 | -7,2 | 8,4 |
| Colombie | 2,0 | 24,0 | 277,2 | 1,4 | 4,0 | 1,2 | 2,4 | -23,2 | -3,3 |
| Congo, Rép. dém du | 6,7 | 0,1 | 7,4 | 1,4 | 2,0 | 0,8 | 3,1 | -14,7 | -7,0 |
| Corée, Rép. dém de | 2,8 | 50,3 | 32,6 | 1,7 | 10,0 | 6,0 | 7,0 | -7,3 | -0,7 |
| Côte d'Ivoire | 3,5 | 1,1 | 2,2 | 1,3 | 1,9 | -0,3 | -0,2 | -14,3 | -12,9 |
| Cuba | 3,7 | 19,5 | 35,0 | 1,1 | 2,0 | -12,0 | -0,9 | -39,3 | -18,1 |
| Danemark | 2,2 | 9,0 | 11,4 | 1,4 | 11,0 | 5,0 | 5,8 | .. | 16,1 |
| Égypte, Rép. arabe d' | 3,0 | 100,0 | 1 192,6 | 1,6 | 14,7 | -7,0 | -1,6 | 11,3 | -27,9 |
| Espagne | 13,7 | 20,3 | 384,2 | 1,6 | 15,2 | -11,9 | 0,9 | -8,9 | -1,3 |
| États-Unis | 174,4 | 12,5 | 944,6 | 1,8 | 24,4 | 2,7 | 4,0 | -5,9 | -1,7 |
| Éthiopie | 13,1 | 2,5 | .. | 1,4 | 3,1 | 2,4 | 5,0 | -31,3 | 0,5 |
| Finlande | 2,2 | 2,9 | 63,8 | 2,1 | 29,6 | 5,6 | 4,4 | .. | 15,7 |
| France | 18,5 | 13,3 | 757,2 | 1,5 | 12,3 | -3,5 | 3,2 | -6,7 | -2,6 |
| Ghana | 4,2 | 0,5 | 2,5 | 1,3 | 1,3 | -1,0 | 0,8 | -14,0 | -10,1 |
| Grèce | 2,6 | 37,9 | 533,3 | 1,7 | 16,0 | -10,9 | 1,8 | -7,8 | -3,5 |
| Hongrie | 4,6 | 3,1 | 4,6 | 1,9 | 25,0 | -1,3 | 6,5 | .. | -10,8 |
| Inde | 159,7 | 32,9 | 4 383,5 | 1,6 | 10,8 | 1,9 | 2,7 | -38,1 | -12,2 |
| Indonésie | 23,0 | 12,4 | 2 854,9 | 1,2 | 0,4 | 1,8 | 2,5 | -17,9 | -17,7 |
| Irak | 5,8 | 58,6 | 35,8 | 1,8 | 22,3 | -13,3 | 6,1 | -41,4 | -18,5 |
| Iran, Rép. islamique d' | 16,5 | 47,0 | 451,1 | 1,8 | 19,9 | -15,6 | 4,2 | -28,9 | -7,3 |
| Italie | 7,7 | 25,8 | 757,4 | 1,5 | 12,3 | -7,0 | 4,6 | -7,4 | -2,7 |
| Japon | 4,4 | 35,1 | 4 279,9 | 1,4 | 4,0 | 0,5 | 3,8 | -5,7 | 0,6 |
| Kazakhstan | 22,4 | 15,7 | 0,9 | 1,8 | 28,5 | 5,6 | 5,0 | 11,4 | 7,7 |
| Kenya | 5,3 | 1,8 | 6,3 | 1,2 | 2,5 | 7,5 | 8,0 | -5,5 | 6,1 |
| Madagascar | 3,0 | 30,6 | 47,5 | 1,2 | 2,1 | -4,1 | 1,1 | -26,2 | -0,5 |
| Malawi | 2,6 | 2,2 | 3,6 | 1,4 | 7,5 | -0,1 | 2,4 | -31,3 | -3,0 |
| Mali | 4,8 | 4,9 | 0,6 | 1,7 | 16,1 | 8,4 | 3,8 | -35,6 | -9,6 |
| Maroc | 8,5 | 15,4 | 6,9 | 2,1 | 21,1 | -16,8 | 5,3 | -39,0 | -25,2 |
| Mexique | 25,0 | 22,8 | 535,5 | 1,6 | 16,8 | -7,2 | 1,6 | -35,4 | -0,5 |
| Mozambique | 4,4 | 2,6 | 4,6 | 1,3 | 5,9 | -2,7 | 1,4 | -21,7 | -10,4 |
| Myanmar | 10,1 | 17,0 | 1 862,4 | 1,3 | 8,6 | 1,9 | 3,7 | -39,3 | -15,4 |
| Népal | 2,4 | 47,1 | 43,7 | 1,7 | 21,8 | 3,6 | 4,9 | -17,3 | -10,6 |
| Niger | 14,5 | 0,5 | 0,9 | 1,6 | 16,1 | 5,6 | 2,5 | -34,1 | -1,7 |
| Nigeria | 32,0 | 0,8 | 24,8 | 1,3 | 4,1 | 0,6 | 1,1 | -18,5 | -9,9 |
| Ouganda | 5,4 | 0,1 | 115,7 | 1,3 | 1,7 | 3,4 | 6,6 | -16,8 | -5,0 |
| Ouzbékistan | 4,7 | 84,9 | 2,4 | 1,7 | 21,5 | -0,1 | 3,4 | -12,1 | -2,8 |
| Pakistan | 21,3 | 82,0 | 214,2 | 1,8 | 19,8 | -3,0 | 3,5 | -30,4 | -32,9 |
| Pérou | 3,7 | 27,8 | 271,8 | 1,5 | 5,0 | 1,2 | 3,3 | -30,6 | 0,6 |
| Philippines | 5,7 | 14,5 | 1 371,4 | 1,2 | 1,3 | 2,1 | 1,7 | -23,4 | -14,3 |
| Pologne | 12,1 | .. | 15,0 | 1,7 | 21,6 | 1,8 | 4,4 | -4,7 | 16,7 |
| Rép. arabe syrienne | 4,9 | 24,3 | 24,8 | 1,7 | 23,4 | -13,6 | 3,7 | -27,0 | -4,5 |
| République tchèque | 3,0 | 0,7 | 49,5 | 1,7 | 20,3 | 0,3 | 4,6 | .. | 14,3 |
| Roumanie | 9,3 | 5,8 | 22,5 | 1,7 | 28,9 | -4,2 | 5,3 | -6,6 | -8,1 |
| Royaume-Uni | 5,7 | 3,0 | 927,9 | 1,1 | 5,1 | 2,5 | 3,7 | -3,9 | 3,2 |
| Russie, Fédération de | 121,8 | 3,7 | 326,1 | 2,2 | 29,5 | 8,8 | 5,5 | -7,7 | 11,0 |
| Sénégal | 2,6 | 4,8 | 0,2 | 1,6 | 6,0 | -1,9 | 3,1 | -51,9 | -19,3 |
| Soudan | 19,4 | 10,2 | 3,8 | 1,6 | 9,5 | -0,6 | -0,1 | -56,1 | -7,0 |
| Suède | 2,7 | 4,3 | 21,4 | 1,8 | 22,0 | 5,1 | 5,3 | .. | 19,8 |
| Tanzanie | 9,2 | 1,8 | 0,1 | 1,3 | 2,3 | 4,4 | 6,0 | -24,2 | -2,0 |
| Thaïlande | 14,2 | 28,2 | 2 432,8 | 1,2 | 8,1 | 2,7 | 2,2 | -26,2 | -15,9 |
| Togo | 2,5 | 0,3 | 12,0 | 1,3 | 1,5 | -2,0 | -0,5 | .. | -14,0 |
| Turquie | 23,8 | 20,0 | 64,6 | 1,7 | 24,3 | -10,2 | 1,0 | -16,2 | -1,0 |
| Ukraine | 32,5 | 6,6 | 76,9 | 1,7 | 28,5 | -0,7 | 4,0 | -5,2 | -7,4 |
| Venezuela, R. B. du | 2,7 | 16,9 | 65,8 | 1,6 | 10,3 | -6,4 | 1,1 | -31,9 | -9,8 |
| Viet Nam | 6,6 | 33,7 | 4 544,8 | 1,2 | 7,3 | 3,6 | 1,7 | -15,1 | -11,4 |
| Zambie | 5,3 | 2,9 | 8,7 | 1,5 | 8,1 | 0,6 | 3,9 | -39,6 | 1,3 |
| Zimbabwe | 3,2 | 5,2 | 5,1 | 1,5 | 12,3 | -3,7 | 4,8 | -37,9 | -10,6 |

a. Indique la variation en pourcentage de la valeur de la variable durant la période considérée.

Tableau A7 Innovation, recherche et développement

| | Dépenses de recherche et développement | Chercheurs en R-D | Familles de brevets triadiques | Indice de l'économie du savoir | Disponibilité des dernières technologies | Absorption des technologies au niveau des entreprises |
|-----------------------|--|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|
| | % du PIB | Par million d'habitants | Par million d'habitants | Indice | Indice | Indice |
| | 2005-2006 ^a | 2005-2006 ^a | 2005 | 2008 | 2008-2009 ^a | 2007-2009 ^a |
| Afrique du Sud | 0,9 | 361 | 0,6 | 5,6 | 5,4 | 5,5 |
| Allemagne | 2,5 | 3 359 | 76,4 | 8,9 | 6,2 | 6,0 |
| Autriche | 2,4 | 3 473 | 39,7 | 8,9 | 6,2 | 6,2 |
| Belgique | 1,9 | 3 188 | 34,4 | 8,7 | 6,1 | 5,5 |
| Canada | 2,0 | .. | 24,0 | 9,2 | 6,2 | 5,6 |
| Chine | 1,3 | .. | 0,3 | 4,4 | 4,2 | 5,1 |
| Corée, Rép. de | 3,0 | 3 756 | 58,4 | 7,7 | 5,8 | 5,8 |
| Danemark | 2,5 | 5 202 | 42,2 | 9,6 | 6,5 | 6,2 |
| Espagne | 1,1 | 2 528 | 4,5 | 8,2 | 5,2 | 5,0 |
| Estonie | 0,9 | 2 478 | .. | 8,3 | 5,8 | 5,5 |
| États-Unis | 2,6 | 4 651 | 53,1 | 9,1 | 6,5 | 6,3 |
| Finlande | 3,5 | 7 545 | 53,0 | 9,4 | 6,6 | 6,1 |
| France | 2,1 | 3 353 | 39,4 | 8,5 | 6,2 | 5,6 |
| Grèce | 0,5 | 1 744 | .. | 7,4 | 4,7 | 4,4 |
| Hongrie | 0,9 | 1 574 | 4,1 | 7,9 | 4,7 | 4,7 |
| Inde | .. | .. | 0,1 | 3,1 | 5,2 | 5,5 |
| Irlande | 1,3 | 2 797 | 15,0 | 8,9 | 5,5 | 5,5 |
| Islande | 2,8 | 7 287 | .. | 8,9 | 6,7 | 6,6 |
| Israël | 4,5 | .. | 60,3 | 8,2 | 6,1 | 6,0 |
| Italie | 1,1 | 1 407 | 12,3 | 7,9 | 4,7 | 4,6 |
| Japon | 3,3 | 5 512 | 117,2 | 8,6 | 6,2 | 6,3 |
| Koweït | .. | 74 | .. | 6,0 | 5,4 | 5,5 |
| Lithuanie | 0,8 | 2 230 | .. | 7,7 | 5,0 | 5,0 |
| Luxembourg | 1,6 | 4 877 | 50,5 | 8,7 | 5,7 | 5,5 |
| Macédoine, ERY | 0,2 | 547 | .. | 5,3 | 3,6 | 3,4 |
| Norvège | 1,5 | 4 668 | 25,6 | 9,3 | 6,4 | 6,1 |
| Nouvelle-Zélande | 1,2 | 4 207 | 15,3 | 8,9 | .. | 5,5 |
| Pays-Bas | 1,7 | 2 477 | 66,9 | 9,3 | 6,2 | 5,5 |
| Pologne | 0,1 | 1 627 | .. | 7,4 | 4,4 | 4,7 |
| Portugal | .. | 2 007 | .. | 7,5 | 5,7 | 5,4 |
| République slovaque | 0,5 | 2 027 | .. | 7,3 | 5,1 | 5,4 |
| République tchèque | 1,4 | 2 371 | .. | 7,8 | 5,1 | 5,4 |
| Royaume-Uni | 1,8 | 2 995 | 27,4 | 9,1 | 6,2 | 5,6 |
| Russie, Fédération de | 1,1 | 3 227 | 0,4 | 5,4 | 3,9 | 4,1 |
| Singapour | 2,4 | 5 497 | 24,3 | 8,2 | 6,2 | 6,0 |
| Slovénie | 1,5 | 2 627 | .. | 8,3 | 5,1 | 4,9 |
| Suède | 3,9 | 6 095 | 81,0 | 9,5 | 6,6 | 6,2 |
| Suisse | .. | .. | 107,6 | 9,2 | 6,4 | 6,2 |
| Tunisie | 1,0 | 1 450 | .. | 4,7 | 5,4 | 5,4 |
| Ukraine | 1,0 | .. | .. | 5,8 | 4,2 | 4,5 |

Remarque : Les 40 pays inclus dans le tableau ont été sélectionnés parce que des données étaient disponibles pour au moins quatre des six variables considérées.

a. Les données indiquées sont celles de l'année la plus récente pour laquelle elles sont disponibles.

Définitions et notes

Tableau A1 Émissions de sources énergétiques

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------------------------------|---|--|
| Émissions de dioxyde de carbone | | |
| 1, 2 | Total annuel (millions de tonnes) | Volume total des émissions de CO ₂ du secteur de l'énergie, y compris pour la production d'électricité et de chaleur, les industries manufacturières et les activités de construction, le brûlage à la torche, les transports et d'autres activités industrielles, indiqué par WRI (2008). Les émissions des processus industriels (essentiellement la fabrication de ciment) qui constituent environ 4 % des émissions de CO ₂ de sources énergétiques ne sont pas prises en compte. Les 65 économies incluses dans le tableau ont été sélectionnées parce qu'elles sont à l'origine de 96 % des émissions annuelles mondiales de CO ₂ dans le secteur de l'énergie pour 2005. Les chiffres globaux ont été établis au moyen des données relatives aux 210 économies qui constituent la liste intégrale. |
| 2, 3 | Variation (%) | Variation en pourcentage des émissions de CO ₂ de sources énergétiques entre 1990 (année de base) et 2005. |
| 4, 5 | Par habitant (tonnes) | Émissions annuelles divisées par la population en milieu d'année (Banque mondiale 2009) exprimées en tonnes de CO ₂ par personne. |
| 6 | Part du total mondial (%) | Proportion des émissions totales mondiales de CO ₂ de sources énergétiques imputables à un pays donné, à un groupe de revenu déterminé ou à une région particulière. |
| 7 | Cumulées depuis 1850 (milliards de tonnes) | Les émissions cumulées de CO ₂ entre 1850 et 2005 sont tirées de DOE (2009). Les émissions proviennent, notamment, de la combustion de combustibles solides, liquides et gazeux ainsi que de la production de ciment et du brûlage des gaz à la torche. Pour assurer la cohérence des données dans le temps, on a utilisé les données sur la production de combustibles de préférence aux données sur la consommation. Les émissions de CO ₂ ne comprennent pas les émissions des déchets, de l'agriculture, des changements d'affectation des terres ou des combustibles de soute utilisés dans les transports internationaux. Les émissions cumulées ont été calculées à partir des données disponibles : leur couverture commence en 1850 pour la majorité des 25 principaux émetteurs, et entre 1900 et 1950 pour les pays moins vastes et les États insulaires. |
| 8, 9 | Émissions annuelles totales de gaz autres que le CO ₂ (millions de tonnes d'équivalent CO ₂) | Émissions totales de méthane (CH ₄) et d'oxyde nitreux (N ₂ O) en équivalent CO ₂ du secteur de l'énergie, tirées de WRI (2008). Cet indicateur comprend les émissions de la combustion de biomasse, celles provenant des systèmes fonctionnant au pétrole et au gaz naturel, des industries extractives et d'autres sources stationnaires et mobiles. La conversion en équivalent CO ₂ permet d'exprimer le volume d'un mélange de gaz à effet de serre sous forme du volume de CO ₂ qui produirait le même réchauffement que le mélange de gaz (voir le Glossaire). |
| 10, 11 | Intensité carbone de l'énergie (tonnes de CO ₂ par tonne d'équivalent pétrole) | Rapport entre les émissions de dioxyde de carbone et la production d'énergie. Ce ratio mesure le caractère écologique de la production d'énergie et est exprimé en tonnes de CO ₂ (WRI 2008) par tonne d'équivalent pétrole (AIE 2008a, 2008b). |
| 12, 13 | Intensité carbone du revenu (tonnes de CO ₂ par millier de dollars PPA du PIB) | Rapport entre les émissions de dioxyde de carbone et le produit intérieur brut. Ce rapport est un indicateur du caractère écologique de l'économie et exprimé en tonnes de CO ₂ par millier de dollars PPA de PIB. Les chiffres des émissions sont tirés de WRI (2008) et les données sur le PIB proviennent de Banque mondiale (2009). |

Tableau A2 Émissions d'origine terrestre

Tableau A2.a Émissions de CO₂ associées au déboisement

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|--|---|
| 1, 2 | Émissions annuelles moyennes de CO ₂ (millions de tonnes) et rang | Les estimations des émissions de CO ₂ associées au déboisement sont basées sur Houghton (2009) et ont été établies à partir des estimations de la modification du couvert forestier tropical tirées de l'évaluation des ressources forestières mondiales 2005 (FAO 2005). Les estimations des émissions de CO ₂ associées au déboisement varient dans le temps et par suite des carences des données : des différences existent entre les estimations des taux de déboisement et les estimations des stocks de carbone des forêts affectées à d'autres usages. Afin de prendre en compte l'évolution de la situation d'une année sur l'autre ainsi que les incertitudes dont sont entachées les mesures, les chiffres indiqués ici sont basés sur les émissions annuelles moyennes entre 1990 et 2005. Les 25 économies ayant le plus contribué aux émissions de CO ₂ associées au déboisement en 2005, qui figurent dans le tableau, sont à l'origine d'environ 95 % du total mondial. Le déboisement net dans les pays à revenu élevé est, selon les estimations, pratiquement nul sinon faiblement négatif. Le rang est basé sur les émissions annuelles moyennes sur la période 1990-2005. |
| 3, 4 | Émissions de CO ₂ par habitant (tonnes) et rang | Rapport entre les émissions annuelles moyennes associées au déboisement et la population en milieu d'année, exprimé en tonnes de CO ₂ par personne. Les chiffres relatifs à la population proviennent de Banque mondiale (2009). Le rang attribué pour les émissions par habitant est basé sur le classement de 186 économies (voir chapitre 1, figure 1.1). |
| 5 | Proportion moyenne du total (mondial) | Proportion des émissions de CO ₂ correspondant aux émissions annuelles moyennes entre 1990 et 2005 en pourcentage des émissions mondiales associées au déboisement. |

Tableau A2.b Émissions de gaz autres que le CO₂ associées à l'agriculture

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|--|--|
| 1, 2 | Émissions annuelles (millions de tonnes d'équivalent CO ₂) | Émissions totales de méthane (CH ₄) et d'oxyde nitreux (N ₂ O) en équivalent CO ₂ du secteur agricole, tirées de WRI (2008). La conversion en équivalent CO ₂ permet d'exprimer le volume d'un mélange de gaz à effet de serre sous forme du volume de CO ₂ qui produirait le même réchauffement que le mélange de gaz (voir le Glossaire). Les émissions du secteur agricole proviennent principalement de la riziculture, des sols agricoles, de la gestion du fumier et de la fermentation entérique du bétail. Pour assurer la conformité avec les catégories établies par le GIEC pour les sources et les puits de carbone, les émissions de CO ₂ dues à la combustion de combustibles dans le secteur agricole sont imputées au secteur de l'énergie et non au secteur agricole. Les 25 économies ayant le plus contribué aux émissions de CO ₂ associées à l'agriculture, qui figurent dans le tableau, sont à l'origine d'environ 70 % du total mondial. |
| 3 | Proportion du total (mondial) (%) | Proportion du total des émissions totales à l'échelle mondiale associées au secteur agricole imputée à un pays donné ou à une région particulière. |
| 4-7 | Émissions par habitant (million de tonnes métriques d'équivalent-CO ₂) et classement | Rapport entre les émissions annuelles associées au secteur agricole et la population en milieu d'année, en 1990 et 2005 (Banque mondiale 2009) exprimé en tonnes d'équivalent CO ₂ par personne. Le rang attribué pour les émissions par habitant est basé sur le classement de toutes les économies (plus de 200). |

Tableau A3 Approvisionnement total en énergie primaire

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|---|--|
| 1, 2 | Approvisionnement en énergie primaire, total annuel (millions de tonnes d'équivalent pétrole) | L'approvisionnement total en énergie primaire (ATEP) est un indicateur de la consommation d'énergie commerciale. L'ATEP est la somme de la production intérieure, des importations et des variations de stocks, moins les exportations et les combustibles utilisés pour des transports maritimes internationaux. Plus la proportion de l'ATEP provenant des combustibles fossiles est faible et celle des énergies renouvelables est élevée et plus l'économie suit une trajectoire écologique. Les données pour les 135 économies proviennent de AIE (2008a) pour les membres de l'OCDE et d'AIE (2008b) pour les autres économies. |
| 3-5 | Proportion des combustibles fossiles dans l'ATEP (%) | Proportion de l'énergie primaire totale provenant de combustibles fossiles, notamment le charbon, le pétrole et le gaz naturel. La catégorie du charbon comprend aussi les produits qui en sont dérivés (AIE 2008a, 2008b). La catégorie du pétrole comprend le pétrole brut, les liquides de gaz naturel, les matières premières et les produits pétroliers. La catégorie du gaz naturel ne couvre que le gaz naturel. |
| 6, 7 | Proportion des énergies renouvelables dans l'ATEP (%) | Proportion de l'énergie primaire totale d'origine hydraulique, solaire, éolienne, géothermique, ou provenant de la biomasse et des déchets (AIE 2008a, 2008b). La biomasse, aussi appelée combustibles traditionnels, se compose de matières animales et végétales (bois, déchets végétaux, éthanol, matières/déchets animaux et lignosulfites). Les déchets comprennent les déchets municipaux (déchets résidentiels, commerciaux, et des services publics collectés par les autorités locales en vue de leur décharge dans un centre où ils sont utilisés pour générer de la chaleur et/ou de l'électricité) et les déchets industriels. |
| 8 | Proportion de l'énergie nucléaire dans l'ATEP (%) | Proportion de l'énergie primaire totale provenant de l'énergie nucléaire (AIE 2008a, 2008b). |
| 9, 10 | Consommation d'électricité par habitant (kilowattheures) | La consommation d'électricité par habitant mesure le nombre moyen de kilowattheures (kWh) d'électricité généré par personne dans un pays donné (AIE 2008c) ou dans une région (AIE 2008d). L'électricité générée provient, notamment de centrales publiques et privées et d'installations de cogénération ainsi que de centrales nucléaires et hydroélectriques (à l'exception des centrales de pompage), géothermiques, éoliennes, solaires et autres centrales alimentées par des énergies renouvelables. L'électricité produite par la chaleur générée par des processus chimiques n'est pas incluse ici. La consommation d'électricité est égale à la somme de la production et des importations moins les exportations et les pertes de distribution. |
| 11 | Taux d'électrification (%) | Proportion de la population ayant accès à l'électricité entre 2000 et 2006, tirée de AIE (2002, 2006). |

Tableau A4 Catastrophes naturelles

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|---|--|
| 1, 2 | Mortalité (nombre de personnes) | Nombre de personnes confirmées mortes et de personnes portées disparues et présumées mortes (chiffres officiels lorsqu'ils sont disponibles) par suite d'une catastrophe (telle que sécheresse, inondation et tempête) basé sur le CRED (2009). Les chiffres sont des moyennes annuelles pour la période 1971-2008. |
| 3-5 | Personnes touchées (milliers) | Personnes blessées, sans abri et ayant besoin d'une aide immédiate par suite d'une catastrophe (telle que sécheresse, inondation et tempête) ; cette rubrique peut aussi comprendre les personnes déplacées ou évacuées indiquées dans le CRED (2009). Les chiffres sont des moyennes annuelles pour la période 1971-2008. |
| 6, 7 | Pertes économiques (USD milliers) | Estimation des dégâts engendrés par une catastrophe en dollars, sur la base du CRED (2009). Les chiffres sont des moyennes annuelles pour la période 1971-2008. |
| 8 | Perte la plus élevée engendrée par une seule catastrophe (% du PIB) | Estimation du total des dégâts représentant la perte la plus élevée engendrée par une catastrophe à évolution lente ou rapide entre 1961 et 2008 (Mechler <i>et al.</i> 2009). Les économies incluses dans le tableau ont subi au moins une perte due à une catastrophe se chiffrant à plus de 0,8 % de leur PIB durant la période considérée. Parmi les catastrophes considérées figurent, notamment, sécheresse, inondation, tempête, vague de froid et incendie de forêt. La perte la plus élevée engendrée par une seule catastrophe est définie comme la perte totale due à la catastrophe en question, exprimée en dollars (CRED 2009), divisée par le PIB total (Banque mondiale 2009). |
| 9 | Côte (kilomètres) | Longueur totale de la limite entre la terre et la mer (y compris autour des îles), tirée de CIA (2009). |
| 10 | Population des zones côtières peu élevées (%) | Proportion de la population totale vivant dans des zones côtières peu élevées (définies ici comme des zones terrestres contiguës à côte et ne se trouvant pas à plus de 10 mètres d'altitude), tirée de CIESIN (2006). |
| 11 | Superficie des zones côtières peu élevées (%) | Proportion de la superficie totale constituée par des zones côtières peu élevées (définies ici comme des zones terrestres contiguës à côte et ne se trouvant pas à plus de 10 mètres d'altitude), tirée de CIESIN (2006). |

Tableau A5 Terre, eau et projections des impacts du changement climatique

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|--|---|
| 1 | Terres arables (million d'hectares) | Les terres arables sont des terres qui sont adaptées à des cultures qui donnent lieu à de nouvelles plantations après chaque récolte, comme le blé, le maïs et le riz. Banque mondiale (2009). |
| 2 | Proportion des terres irriguées (% des terres cultivées en permanence) | Proportion du total des terres cultivées en permanence qui sont irriguées, tirée de Banque mondiale (2009) |
| 3 | Production aquacole (USD millions) | La production aquacole comprend les produits de l'élevage d'organismes aquatiques tels que poissons, mollusques et crustacés et de la culture de plantes aquatiques dans de l'eau saumâtre, de l'eau douce ou de l'eau de mer ; dans des lasses d'eau intérieures et dans des zones marines. La production aquacole couvre plus précisément les produits des activités aquacoles devant faire l'objet d'une récolte finale en vue de leur consommation. Données de la FAO (2009) |
| 4-7 | Projections des impacts physiques | Projections des impacts physiques du changement climatique à l'horizon du milieu du 21 ^e siècle. Les indicateurs retenus sont, notamment, l'évolution des températures annuelles moyennes, la variation des précipitations et de leur intensité, et l'allongement de la durée des vagues de chaleur. Ces projections sont des moyennes obtenues à partir de 19 modèles de circulation utilisées par le GIEC pour le quatrième rapport d'évaluation (GIEC 2007). Les variations sont estimées pour la période future 2030-2049 par rapport à la période 1980-1999. Les indicateurs sont des moyennes pondérées par des coefficients spatiaux. |
| 8, 9 | Projections des impacts agricoles | Variation en pourcentage de la production agricole (définie par les recettes à l'hectare) entre 2000 et 2080 établie sur la base des « estimations préférentielles » de Cline (2007). Les impacts sur le rendement agricole sont définis par la variation moyenne en pourcentage des rendements entre 2000 et 2050 du blé, du riz, du maïs, du mil, du pois fourrager, de la betterave sucrière, de la patate douce, du soja, des arachides, du tournesol et de colza, établie à partir de Muller <i>et al.</i> (2009). |

Tableau A6 Richesse des nations

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|--|---|
| 1 | Patrimoine total (USD par habitant) | Patrimoine global produit par les nations dans le passé, qui représente la valeur de tous les biens, ressources et services, y compris le capital naturel, le capital produit et le capital intangible. Les sous-catégories du capital naturel sont les forêts, les sols et les ressources agricoles qui sont un indicateur de la mesure dans laquelle un pays est tributaire de ses ressources naturelles et est vulnérable au changement climatique. Tous les indicateurs sont exprimés en USD par habitant, la valeur obtenue étant égale à la valeur totale divisée par la population en milieu d'année (Banque mondiale 2005). |
| 2 | Capital produit (USD par habitant) | Le capital produit comprend les matériels, machines et structures ainsi que les espaces urbains |
| 3 | Capital intangible (USD par habitant) | Le capital intangible comprend la main-d'œuvre au sens propre, le capital humain, le capital social et d'autres facteurs comme la qualité des institutions. Il est calculé sous forme de résidu, et correspond à la différence entre le patrimoine total et la somme du capital produit et du capital naturel. |
| 4 | Capital naturel (USD par habitant) | Le capital naturel comprend les ressources énergétiques (pétrole, gaz naturel, houille et lignite), les ressources minérales (bauxite, cuivre, or, fer, plomb, nickel, phosphates, argent, étain et zinc), les ressources ligneuses, les ressources forestières autres que le bois, les terres cultivées en permanence, les terrains de pâture, et les zones protégées. |
| 5 | Terrains de pâture (USD par habitant) | Le capital naturel associé aux terrains de pâture correspond à la valeur annuelle des terrains de pâture utilisés pour la production de biens. Les terrains de pâture sont supposés avoir une rentabilité égale à 45 % de la valeur de la production, qui est établie sur la base de la production de bœuf, d'agneau, de lait et de laine évaluée sur la base des prix mondiaux |
| 6 | Terres cultivées en permanence (USD par habitant) | Le capital naturel associé aux terres cultivées en permanence correspond à la valeur annuelle de la production agricole établie sur la base des terres disponibles. Les terres cultivées en permanence ont une rentabilité égale à la différence entre la valeur marchande des cultures et les coûts de production de chaque culture. |
| 7 | Zones protégées (USD par habitant) | Le capital naturel associé aux terres cultivées en permanence correspond à la valeur annuelle des avantages procurés par les zones protégées, notamment leur valeur récréative, touristique et autre valeur d'existence. |
| 8 | Ressources forestières autres que le bois (USD par habitant) | Les avantages procurés par les ressources forestières autres que le bois comprennent des produits forestiers mineurs, la chasse, les loisirs et la protection des bassins versants. Pour calculer les avantages annuels, il a été posé en hypothèse qu'un dixième des superficies forestières de chaque pays est accessible et procure des avantages dont la valeur se situe entre 190 dollars l'hectare dans les pays développés et 145 dollars l'hectare dans les pays en développement |
| 9 | Ressources en bois (USD par habitant) | Les ressources en bois couvrent le bois rond (dans son état naturel) des essences de conifères et de non-conifères. Les valeurs marchandes étant employées pour estimer la valeur du bois sur pied, une distinction a été faite entre les forêts exploitables pour leur bois et les forêts non exploitables pour leur bois. Les superficies des forêts exploitables pour leur bois sont celles qui sont situées à moins de 50 kilomètres d'infrastructures. |
| 10 | Actifs souterrains (USD par habitant) | Les actifs souterrains sont les réserves prouvées de gisements minéraux situés à la surface de la terre ou sous terre, qui peuvent être exploitées de manière économique avec les technologies existantes et aux prix relatifs en vigueur. |

Tableau A7 Innovation, recherche et développement

| Colonne | Indicateur | Notes |
|---------|--|---|
| 1 | Dépenses en recherche et développement (% du PIB) | Les dépenses de recherche et développement sont les dépenses de fonctionnement et d'équipement (publiques et privées) consacrées à des efforts de création entrepris de manière systématique pour accroître la base de connaissances, y compris la connaissance de l'humanité, de la culture et de la société, et à l'utilisation de cette base de connaissances pour concevoir de nouvelles applications. La R-D couvre la recherche de base, la recherche appliquée et le développement expérimental. La proportion des dépenses de R-D est égale au montant total des dépenses de R-D divisé par le PIB d'une année donnée. Les données proviennent de la Banque mondiale. |
| 2 | Chercheurs en R-D (par million d'habitants) | Nombre de chercheurs en R-D par million d'habitants. |
| 3 | Familles de brevets triadiques (par million d'habitants) | Séries de brevets déposés, pour une même invention, auprès de l'Office européen des brevets, du Japan Patent Office et du United States Patent and Trademark Office. Constitue un bon indicateur du nombre de brevets déposés et de brevets par habitant (OCDE 2008). |
| 4 | Indice de l'économie du savoir | L'indice de l'économie du savoir (Banque mondiale 2008) est un indice synthétique basé sur la méthode d'évaluation des connaissances 2008 de la Banque mondiale (KAM) et indique la mesure dans laquelle un pays ou une région peut opérer dans le cadre de l'économie du savoir. L'indice (KEI) est une moyenne simple de 4 sous-indices représentant les quatre pierres angulaires de l'économie du savoir : 1) Incitations économiques et régime institutionnel, 2) Éducation et formation, 3) Innovation et adoption de technologies, et 4) Infrastructure des technologies de l'information et des communications. |
| 5 | Disponibilité des dernières technologies | Indice mesurant la disponibilité des dernières technologies dans un pays. Cet indice se situe entre 1 (faible disponibilité et faible utilisation) et 7 (importante disponibilité et forte utilisation). Pour une liste exhaustive des pays, voir le Forum économique mondial (2009). |
| 6 | Absorption des technologies par les entreprises | Indice mesurant la capacité d'un pays à absorber les nouvelles technologies. Cet indice se situe entre 1 (capacité d'absorption nulle) et 7 (forte capacité d'absorption). Pour une liste exhaustive des pays, voir le Forum économique mondial (2009). |

Symboles et agrégats

Le symbole .. signifie que les données ne sont pas disponibles ou qu'il n'a pas été possible de calculer des agrégats en raison de l'absence de données pour les années indiquées.

Les nombres 0 et 0,0 indiquent une valeur nulle ou inférieure à la moitié de l'unité considérée.

Les agrégats établis pour les régions et les groupes de revenus sont des sommes simples lorsqu'ils sont exprimés sous forme de niveau. Les taux et ratios des agrégats sont des moyennes pondérées.

Les chiffres récapitulatifs sont des totaux (et sont suivis de la lettre t si leur calcul a fait intervenir des estimations parce que des données manquent ou que des économies n'ont pas communiqué leurs données, ou de la lettre s s'il s'agit d'une simple somme des données disponibles), des moyennes pondérées (lettre w), ou des valeurs médianes (lettre m) pour les groupes d'économies. Les données sur les pays qui ne figurent pas dans les tableaux principaux sont prises en compte dans le calcul des chiffres récapitulatifs.

Bibliographie

CCIA. 2009. "The World Factbook 2009." Washington, DC: Central Intelligence Agency. Disponible à l'adresse <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> (consultation en juillet 2009).

CIESIN. 2006. "Low Elevation Coastal Zone (LECZ) Urban-Rural Estimates, Global Rural-Urban Mapping Project (GRUMP), Alpha Version." Palisades, NY: Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University. Disponible à l'adresse <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/lecz> (consultation en juillet 2009).

Cline, W. R. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington, DC: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.

CRED. 2008. "EM-DAT: The OFDA/CRED International Emergency Disaster Database." Bruxelles, Belgique : Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des désastres (CRED), Université Catholique de Louvain - École de Santé Publique.

DOE (U.S. Department of Energy). 2009. "Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)." DOE, Oak Ridge, TN.

FAO. 2009. "Global Aquaculture Production 1950-2007." Rome, Italie : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Département des pêches et de l'aquaculture. Disponible à l'adresse <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en> (consultation en juillet 2009).

Houghton, R. A. 2009. "Emissions of Carbon from Land Management." Note préliminaire pour RDM 2010.

AIE (Agence internationale de l'énergie). 2002. *World Energy Outlook 2002*. Paris : AIE.

———. 2006. *World Energy Outlook 2006*. Paris: AIE.

———. 2008a. *Energy Balances of Non-OECD Countries – 2008 Edition*. Paris: AIE.

———. 2008b. *Energy Balances of OECD Countries – 2008 Edition*. Paris: AIE.

———. 2008c. *Energy Statistics of Non-OECD Countries – 2008 Edition*. Paris: AIE.

———. 2008d. *Energy Statistics of OECD Countries – 2008 Edition*. Paris: AIE.

Mechler, R., S. Hochrainer, G. Pflug, K. Williges, et A. Lotsch. 2009. "Assessing the Financial Vulnerability to Climate-Related Natural Hazards." Document préliminaire pour le RDM 2010.

Müller, C., A. Bondeau, A. Popp, K. Waha, et M. Fader. 2009. "Climate Change Impacts on Agricultural Yields." Note préliminaire pour le RDM 2010.

OCDE. 2008. *Compendium of Patent Statistics 2008*. Paris : Organisation de coopération et de développement économiques.

———. 2009. "OECD Science and Technology Database - Main Science and Technology Indicators." Paris, Organisation de coopération et de développement économiques. Disponible à l'adresse <http://www.sourceoecd.org> (consultation en juillet 2009).

Banque mondiale. 2005. *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*. Washington, DC : Banque mondiale.

———. 2008. "Knowledge Assessment Methodology - Knowledge Economy Index (KEI)." Washington, DC : Banque mondiale. Disponible à l'adresse http://info.worldbank.org/etools/kam2/KAM_page5.asp (consultation en août 2009).

———. 2009. *World Development Indicators 2009*. Washington, DC : Banque mondiale.

Forum économique mondial. 2009. *Global Information Technology Report 2008-2009*. Genève, Suisse : Forum économique mondial.

WRI. 2008. "Climate Analysis Indicators Tool (CAIT)." Washington, DC : Institut des ressources mondiales.

Grands indicateurs du développement dans le monde 2010

Dans le rapport de cette année, les données sur le développement sont présentées dans six tableaux contenant des données socio-économiques comparatives sur plus de 130 économies pour l'année la plus récente pour laquelle elles sont disponibles et, dans le cas de certains indicateurs, pour une année antérieure. Un tableau supplémentaire contient les indicateurs de base pour 78 économies pour lesquelles on ne dispose que de données fractionnaires ou qui comptent moins de 3 millions d'habitants.

Les indicateurs présentés ici ont été sélectionnés à partir de plus de 800 indicateurs inclus dans la publication *World Development Indicators 2009*. Cette publication (WDI), qui paraît une fois par an, donne une vue générale du processus de développement. Ses six sections reflètent la contribution d'une large gamme de facteurs : les progrès accomplis en direction des objectifs de développement pour le Millénaire et la valorisation du capital humain, la viabilité de l'environnement, les résultats macroéconomiques, le développement du secteur privé et le climat de l'investissement, et les relations internationales qui influent sur le contexte extérieur du développement. Il importe de noter ici que, dans l'édition de cette année, le tableau concernant la pauvreté (tableau 2) présente des estimations de la pauvreté établies sur la base de seuils de pauvreté internationaux de 1,25 et 2 dollars par jour, qui sont fondées sur de nouvelles estimations de la parité du pouvoir d'achat (PPA) ayant 2005 pour année de référence.

World Development Indicators est complété par une base de données publiées séparément, qui donne accès à plus de 800 séries chronologiques d'indicateurs pour 227 économies et régions. Cette base de données peut être obtenue par abonnement en ligne (WDI Online) ou sur CD-ROM.

Sources de données et méthodes

Les données socio-économiques et environnementales présentées dans ce rapport proviennent de différentes Sources : elles peuvent être des données primaires collectées par la Banque mondiale, être tirées de publications statistiques nationales ou avoir été établies par les instituts de recherche ou des organisations internationales comme l'Organisation des Nations Unies (ONU) et ses

institutions spécialisées, le Fonds monétaire international (FMI) et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (se reporter aux sources des données qui figurent à la suite des notes techniques pour une liste exhaustive de ces sources). Bien que les normes internationales applicables en matière de couverture, de définitions et de classification soient respectées pour la plupart des statistiques communiquées par les pays et les institutions internationales, il existe inévitablement des différences au niveau du degré d'actualité et de fiabilité des données, qui tiennent à la diversité des capacités des ressources consacrées à la collecte et à la compilation des données de base. Dans certains domaines, les services de la Banque mondiale doivent examiner des données d'origines différentes pour s'assurer que ce sont les données les plus fiables qui sont présentées. Dans certains cas, les données disponibles ne sont pas incluses dans le rapport parce qu'elles sont jugées trop déficientes pour fournir une évaluation fiable des niveaux et des tendances, ou parce qu'elles ne respectent pas suffisamment les normes internationales.

Les données présentées sont, dans l'ensemble, comparables à celles qui ont été publiées dans *World Development Indicators 2009*. Les chiffres ont toutefois été révisés et mis à jour chaque fois que de nouvelles informations étaient devenues disponibles. Les écarts observés peuvent également tenir aux révisions apportées aux séries chronologiques et aux méthodes employées. Les chiffres publiés dans différentes éditions d'une même publication de la Banque mondiale n'ont pas toujours été établis à la même époque. Il est donc recommandé aux lecteurs de ne pas compiler de séries statistiques à partir de chiffres provenant de publications différentes ou d'éditions différentes d'une même publication. Il est possible d'obtenir des séries chronologiques cohérentes en se reportant au CD-ROM de *World Development Indicators 2009* ou au WDI Online.

Sauf indication contraire, tous les montants en dollars sont exprimés en dollars courants des États-Unis. Les diverses méthodes utilisées pour convertir les chiffres en monnaie nationale sont décrites dans les notes techniques.

Les activités principales de la Banque mondiale consistant à accorder des financements et à fournir des conseils sur l'action à mener à ses États membres à revenu faible ou à revenu intermédiaire, les domaines couverts par ces tableaux

mettent essentiellement l'accent sur ces économies. Les informations disponibles sur les économies à revenu élevé sont également présentées à titre de comparaison. Le lecteur peut se reporter aux publications statistiques nationales ainsi qu'aux publications de l'OCDE et de l'Union européenne (EU) pour de plus amples informations sur les économies à revenu élevé.

Classification des économies et chiffres récapitulatifs

Les chiffres récapitulatifs portés au bas de la plupart des tableaux ont été établis sur la base des chiffres relatifs aux économies classées par niveau de revenu par habitant et par région. Le revenu national brut (RNB) par habitant est le critère retenu pour définir les classifications de revenus suivantes : économie à faible revenu, 975 dollars ou moins en 2008 ; économies à revenu intermédiaire, entre 976 et 11 905 dollars ; et économies à revenu élevé, à partir de 11 906 dollars. La catégorie des économies à revenu intermédiaire est elle-même décomposée en deux sous-catégories selon que le RNB par habitant de l'économie est inférieur à 3 855 dollars (économie à revenu intermédiaire, tranche inférieure), ou supérieur à ce montant (économie à revenu intermédiaire, tranche supérieure). Les économies sont reclassées chaque année sur la base de leur revenu par habitant, de sorte que la composition des groupes de revenus peut se modifier chaque année. Lorsque la classification est modifiée sur la base des estimations les plus récentes, les agrégats établis à partir des nouvelles classifications de revenu sont recalculés pour toutes les périodes antérieures pour assurer le maintien de la cohérence des séries chronologiques. La liste des économies comprises dans chaque groupe (y compris les économies qui comptent moins de 3 millions d'habitants) figurent dans le tableau sur la classification des économies, à la fin du présent volume.

Les chiffres récapitulatifs sont des totaux (et sont suivis de la lettre t si leur calcul a fait intervenir des estimations parce que des données manquent ou que des économies n'ont pas communiqué leurs données, ou de la lettre s s'il s'agit d'une simple somme des données disponibles), des moyennes pondérées (lettre w), ou des valeurs médianes (lettre m) calculées pour les groupes d'économies. Les données sur les pays qui ne sont pas inclus dans les tableaux principaux (c'est-à-dire les pays inclus dans le tableau 6) sont prises en compte dans le calcul des chiffres récapitulatifs, directement lorsqu'elles sont disponibles ou ; sinon, sous forme d'estimations établies en suivant la tendance générale des pays déclarants. Cela permet de standardiser les pays couverts pour chaque période et, partant, de parvenir à des agrégats plus cohérents. Toutefois, aucun chiffre récapitulatif n'est indiqué pour le groupe de pays et la mention non disponible est portée dans le tableau lorsque au moins un tiers de l'estimation globale correspond

à des informations manquantes. La section des *Notes techniques* consacrée aux *Méthodes statistiques* fournit de plus amples informations sur les méthodes employées pour calculer les valeurs des agrégats. Les coefficients de pondération utilisés pour construire les agrégats sont indiqués dans les notes techniques relatives à chaque tableau.

Terminologie et couverture des données

Le terme de pays n'implique pas nécessairement l'indépendance politique, mais peut désigner tout territoire pour lequel les autorités communiquent séparément des statistiques sociales ou économiques. Les données sont présentées pour les économies telles qu'elles étaient constituées en 2008, les chiffres se rapportant aux périodes antérieures ont été modifiés sur la base de la situation politique actuelle. Dans tous les tableaux, une note de bas de page indique les exceptions. Sauf indication contraire, les données relatives à la Chine ne couvrent pas les données pour Hong Kong (Chine) ; pour Macao (Chine) ; ou pour Taïwan (Chine). Les données pour l'Indonésie comprennent les données pour le Timor-Leste jusqu'à la fin de 1999 sauf indication contraire. Le Monténégro a déclaré son indépendance de la Serbie-et-Monténégro le 3 juin 2006. Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives à chacun des deux pays sont indiquées séparément. Toutefois, certains indicateurs relatifs à la Serbie continuent d'être établis sur la base de données qui incluent des chiffres pour Monténégro jusqu'à la fin de 2005 ; ils sont indiqués par une note de bas de page. Par ailleurs, les données relatives à la plupart des indicateurs relatifs à la Serbie établis à partir de 1999 ne comprennent pas les données relatives au Kosovo qui, en 1999, est devenu un territoire sous administration internationale en vertu de la Résolution 1244 du Conseil de sécurité des Nations Unies (1999) ; toute exception à cette règle est dûment notée.

Notes techniques

La qualité des données et des comparaisons internationales étant souvent sources de difficultés, le lecteur est invité à se référer aux notes techniques, au tableau de la classification des économies par revenu et par région et aux notes de renvoi des tableaux. Pour tous renseignements supplémentaires, le lecteur peut se reporter à World Development Indicators 2009.

Symboles

Le symbole .. signifie que les données ne sont pas disponibles ou qu'il n'a pas été possible de calculer des agrégats en raison de l'absence de données pour les années indiquées.

Les nombres 0 et 0,0 indiquent une valeur nulle une valeur suffisamment faible pour que le chiffre soit arrondi à zéro au nombre de décimales indiquées.

Le signe / entre deux dates, par exemple 2003/2004, signifie que la période de temps considéré, qui est généralement de 12 mois, s'étend sur deux années calendaires et correspond à une campagne, une année d'enquête ou un exercice budgétaire.

Le terme « dollar » et le symbole « USD » désignent le dollar des États-Unis courant, sauf indication contraire.

Le signe > signifie « supérieur à ».

< signifie « inférieur à ».

Conventions typographiques

- Un blanc signifie que la catégorie est sans objet ou, dans le cas d'un agrégat, qu'elle n'est pas significative pour l'analyse.
- Un milliard est égal à 1 000 millions.
- Un millier de milliards est égal à 1 000 milliards.
- Les chiffres en italique se rapportent à des années ou à des périodes autres que celles qui sont indiquées, ou encore

à des taux de croissance calculés sur une période moins longue que la période indiquée.

- Les données relatives à des années éloignées de plus de trois ans de l'intervalle indiqué font l'objet d'une note de renvoi.

Le lecteur peut obtenir de plus amples informations sur le WDI 2009, et peut passer une commande en ligne, par téléphone ou par télécopie comme indiqué ci-après :

Pour de plus amples informations et pour passer une commande en ligne, se rendre l'adresse : <http://www.worldbank.org/data/wdi2009/index.htm>.

Pour commander par téléphone, appeler le : 1-800-645-7247 ou 703-661-1580 ; et pour commander par télécopie, envoyer la commande au : 703-661-1501

Pour commander par courrier, envoyer une demande à : The World Bank, P.O. Box 960, Herndon, VA 20172-0960, U.S.A.

Classification des économies par région et niveau de revenu, Ex. 10

| Afrique subsaharienne | | Amérique latine et Caraïbes | | Europe et Asie centrale | | Économies à revenu élevé membres de l'OCDE | |
|---------------------------|------|---------------------------------|------|--|------|--|--|
| Afrique du Sud | ERIS | Argentine | ERIS | Albanie | ERII | Allemagne | |
| Angola | ERII | Belize | ERII | Arménie | ERII | Australie | |
| Bénin | ERF | Bolivie | ERII | Azerbaïdjan | ERIS | Autriche | |
| Botswana | ERIS | Bésil | ERIS | Bélarus | ERIS | Belgique | |
| Burkina Faso | ERF | Chili | ERIS | Bosnie et Herzégovine | ERIS | Canada | |
| Burundi | ERF | Colombie | ERIS | Bulgarie | ERII | Corée, Rép. de | |
| Cameroun | ERII | Costa Rica | ERIS | Géorgie | ERIS | Danemark | |
| Cap-Vert | ERII | Cuba | ERIS | Kazakhstan | ERII | Espagne | |
| Comores | ERF | Dominique | ERIS | Kosovo | ERF | États-Unis | |
| Congo, Rép. dém. Du | ERF | Équateur | ERII | Lettonie | ERIS | Finlande | |
| Congo, Rép. du | ERII | Grenade | ERIS | Lituanie | ERIS | France | |
| Côte d'Ivoire | ERII | Guatemala | ERII | Macédoine, ERY | ERII | Grèce | |
| Érythrée | ERF | Guyana | ERII | Moldavie | ERIS | Hongrie | |
| Éthiopie | ERF | Haïti | ERF | Monténégro | ERIS | Irlande | |
| Gabon | ERIS | Honduras | ERII | Ouzbékistan | | Islande | |
| Gambie | ERF | Jamaïque | ERIS | Pologne | ERIS | Italie | |
| Ghana | ERF | Mexique | ERIS | Rép. kirghize | ERIS | Japon | |
| Guinée | ERF | Nicaragua | ERII | Roumanie | ERIS | Luxembourg | |
| Guinée-Bissau | ERF | Panama | ERIS | Russie, Féd. de | ERIS | Norvège | |
| Kenya | ERF | Paraguay | ERII | Serbie | ERF | Nouvelle-Zélande | |
| Lesotho | ERII | Pérou | ERIS | Tadjikistan | ERIS | Pays-Bas | |
| Libéria | ERF | Rép. dominicaine | ERIS | Turkménistan | ERII | Portugal | |
| Madagascar | ERF | Sainte-Lucie | ERIS | Turquie | ERII | République slovaque | |
| Mawati | ERF | Saint-Kitts-et-Nevis | ERIS | Ukraine | ERF | République tchèque | |
| Mali | ERF | Saint-Vincent-et-les-Grenadines | ERIS | | | Royaume-Uni | |
| Maurice | ERIS | Salvador | ERII | Asie de l'Est et Pacifique | | Suède | |
| Mauritanie | ERF | Suriname | ERIS | Cambodge | ERF | Suisse | |
| Mayotte | ERIS | Uruguay | ERIS | Chine | ERII | | |
| Mozambique | ERF | Venezuela, R. B. de | ERIS | Corée, Rép. dém. de | ERF | | |
| Namibie | ERIS | | | Fidji | ERIS | Autres économies à revenu élevé | |
| Niger | ERF | Asie du Sud | | Indonésie | ERII | Andorre | |
| Nigéria | ERII | Afghanistan | ERF | Kiribati | ERII | Anglo-Normandes, Iles | |
| Ouganda | ERF | Bangladesh | ERF | Malaisie | ERIS | Antigua-et-Barbuda | |
| République centrafricaine | ERF | Bhoutan | ERII | Marshall, Îles | ERII | Antilles néerlandaises | |
| Rwanda | ERF | Inde | ERII | Micronésie, États fédérés de | ERII | Arabie saoudite | |
| Sao Tomé-et-Principe | ERII | Maldives | ERII | Mongolie | ERF | Aruba | |
| Sénégal | ERF | Népal | ERF | Myanmar | ERIS | Bahamas | |
| Seychelles | ERIS | Pakistan | ERII | Palaos | ERII | Bahreïn | |
| Sierra Leone | ERF | Sri Lanka | ERII | Papouasie-Nouvelle-Guinée | | Barbade | |
| Somalie | ERF | | | Philippines | ERII | Bermudes | |
| Soudan | ERII | | | RDP Lao | ERII | Brunei Darussalam | |
| Swaziland | ERII | | | Salomon, Îles | ERF | Caïman, Îles | |
| Tanzanie | ERF | | | Samoa | ERII | Chypre | |
| Tchad | ERF | | | Samoa américaines | ERII | Croatie | |
| Togo | ERF | | | Thaïlande | ERIS | Émirats arabes unis | |
| Zambie | ERF | | | Timor oriental | ERII | Estonie | |
| Zimbabwe | ERF | | | Tonga | ERII | Groenland | |
| | | | | Vanuatu | ERII | Guam | |
| | | | | Viet Nam | ERF | Guinée équatoriale | |
| | | | | | | Hong Kong (Chine) | |
| | | | | Moyen-Orient et Afrique du Nord | | Îles Féroé | |
| | | | | Algérie | | Île de Man | |
| | | | | Cisjordanie et Gaza | ERIS | Îles Vierges (É.-U.) | |
| | | | | Djibouti | ERII | Israël | |
| | | | | Égypte, Rép. arabe d' | ERII | Koweït | |
| | | | | Irak | ERII | Liechtenstein | |
| | | | | Iran, Rép. islamique d' | ERII | Macao (Chine) | |
| | | | | Jordanie | ERII | Malte | |
| | | | | Liban | ERII | Mariannes du Nord, Îles | |
| | | | | Libye | ERIS | Monaco | |
| | | | | Maroc | ERIS | Nouvelle-Calédonie | |
| | | | | Rép. arabe syrienne | ERII | Oman | |
| | | | | Tunisie | ERII | Polynésie française | |
| | | | | Yémen, Rép. Du | ERII | Puerto Rico | |
| | | | | | ERF | Qatar | |
| | | | | | | Saint-Marin | |
| | | | | | | Singapour | |
| | | | | | | Slovénie | |
| | | | | | | Taiwan (Chine) | |
| | | | | | | Trinité-et-Tobago | |

Ce tableau classe toutes les économies membres de la Banque mondiale et toutes les autres économies comptant plus de 30 000 habitants. Les économies sont classées par groupes de revenus sur la base de leur RNB par habitant de 2008, calculée au moyen de la méthode de l'Atlas de la Banque mondiale. Les groupes retenus sont : les économies à faible revenu (ERF), 975 dollars ou moins ; les économies à revenu intermédiaire, tranche inférieure (ERII), entre 976 et 3 855 dollars ; les économies à revenu intermédiaire, tranche supérieure (ERIS), entre 3 856 et 11 905 dollars ; et les pays à revenu élevé, 11 906 dollars et plus.

Source : Données de la Banque mondiale.

Tableau 2 Pauvreté

| | Seuil de pauvreté national | | | | Seuil de pauvreté international | | | | | | | |
|---------------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|--|--|---|----------------------|--|--|---|
| | Population en dessous du seuil de pauvreté | | | | Année de l'enquête | Population dont le revenu est inférieur à 1,25 \$ par jour % | Écart de pauvreté, seuil de 1,25 \$ par jour % | Population dont le revenu est inférieur à 2 \$ par jour % | Année de l'enquête | Population dont le revenu est inférieur à 1,25 \$ par jour | Écart de pauvreté, seuil de 1,25 \$ par jour % | Population dont le revenu est inférieur à 2 \$ par jour % |
| | Année de l'enquête | National % | Année de l'enquête | National % | | | | | | | | |
| Nicaragua | 1998 | 47,9 | 2001 | 45,8 | 2001 ^c | 19,4 | 6,7 | 37,5 | 2005 ^c | 15,8 | 5,2 | 31,8 |
| Niger | 1989-93 | 63,0 | .. | .. | 1994 ^a | 78,2 | 38,6 | 91,5 | 2005 ^a | 65,9 | 28,1 | 85,6 |
| Nigéria | 1985 | 43,0 | 1992-93 | 34,1 | 1996-97 ^a | 68,5 | 32,1 | 86,4 | 2003-04 ^a | 64,4 | 29,6 | 83,9 |
| Norvège | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Nouvelle-Zélande | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Ouganda | 1999-2000 | 33,8 | 2002-03 | 37,7 | 2002 ^a | 57,4 | 22,7 | 79,8 | 2005 ^a | 51,5 | 19,1 | 75,6 |
| Ouzbékistan | 2000-01 | 31,5 | 2003 | 27,2 | 2002 ^a | 42,3 | 12,4 | 75,6 | 2003 ^a | 46,3 | 15,0 | 76,7 |
| Pakistan | 1993 | 28,6 | 1998-99 | 32,6 | 2001-02 ^a | 35,9 | 7,9 | 73,9 | 2004-05 ^a | 22,6 | 4,4 | 60,3 |
| Panama | 1997 | 37,3 | .. | .. | 2004 ^c | 9,2 | 2,7 | 18,0 | 2006 ^c | 9,5 | 3,1 | 17,8 |
| Papouasie-Nouvelle-Guinée | 1996 | 37,5 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 1996 ^a | 35,8 | 12,3 | 57,4 |
| Paraguay | 1990 | 20,5 ^f | .. | .. | 2005 ^c | 9,3 | 3,4 | 18,4 | 2007 ^c | 6,5 | 2,7 | 14,2 |
| Pays-Bas | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Pérou | 2001 | 54,3 | 2004 | 53,1 | 2005 ^c | 8,2 | 2,0 | 19,4 | 2006 ^c | 7,9 | 1,9 | 18,5 |
| Philippines | 1994 | 32,1 | 1997 | 25,1 | 2003 ^a | 22,0 | 5,5 | 43,8 | 2006 ^a | 22,6 | 5,5 | 45,0 |
| Pologne | 1996 | 14,6 | 2001 | 14,8 | 2002 ^a | <2,0 | <0,5 | <2,0 | 2005 ^a | <2,0 | <0,5 | <2,0 |
| Portugal | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| RDP Lao | 1997-98 | 38,6 | 2002-03 | 33,0 | 1997-98 ^a | 49,3 ^d | 14,9 ^d | 79,9 ^d | 2002-03 ^a | 44,0 ^d | 12,1 ^d | 76,8 ^d |
| Rép. arabe syrienne | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| République dominicaine | 2000 | 27,7 | 2004 | 42,2 | 2003 ^c | 6,1 | 1,5 | 16,3 | 2005 ^c | 5,0 | 0,9 | 15,1 |
| Rép. centrafricaine | .. | .. | .. | .. | 1993 ^a | 82,8 | 57,0 | 90,7 | 2003 ^a | 62,4 | 28,3 | 81,9 |
| République kirghize | 2003 | 49,9 | 2005 | 43,1 | 2002 ^a | 34,0 | 8,8 | 66,6 | 2004 ^a | 21,8 | 4,4 | 51,9 |
| République slovaque | 2004 | 16,8 | .. | .. | 1992 ^c | <2,0 | <0,5 | <2,0 | 1996 ^c | <2,0 | <0,5 | <2,0 |
| République tchèque | .. | .. | .. | .. | 1993 ^c | <2,0 | <0,5 | <2,0 | 1996 ^c | <2,0 | <0,5 | <2,0 |
| Roumanie | 1995 | 25,4 | 2002 | 28,9 | 2002 ^a | 2,9 | 0,8 | 13,0 | 2005 ^a | <2,0 | <0,5 | 3,4 |
| Royaume-Uni | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Russie, Fédération de | 1998 | 31,4 | 2002 | 19,6 | 2002 ^a | <2,0 | <0,5 | 3,7 | 2005 ^a | <2,0 | <0,5 | <2,0 |
| Rwanda | 1993 | 51,2 | 1999-2000 | 60,3 | 1984-85 ^a | 63,3 | 19,7 | 88,4 | 2000 ^a | 76,6 | 38,2 | 90,3 |
| Salvador | 1995 | 50,6 | 2002 | 37,2 | 2003 ^c | 14,3 | 6,7 | 25,3 | 2005 ^c | 11,0 | 4,8 | 20,5 |
| Sénégal | 1992 | 33,4 | .. | .. | 2001 ^a | 44,2 | 14,3 | 71,3 | 2005 ^a | 33,5 | 10,8 | 60,3 |
| Serbie | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Sierra Leone | 1989 | 82,8 | 2003-04 | 70,2 | 1989-90 ^a | 62,8 | 44,8 | 75,0 | 2002-03 ^a | 53,4 | 20,3 | 76,1 |
| Singapour | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Somalie | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Soudan | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Sri Lanka | 1995-96 | 25,0 | 2002 | 22,7 | 1995-96 ^a | 16,3 | 3,0 | 46,7 | 2002 ^a | 14,0 | 2,6 | 39,7 |
| Suède | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Suisse | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Tadjikistan | 1999 | 74,9 | 2003 | 44,4 | 2003 ^a | 36,3 | 10,3 | 68,8 | 2004 ^a | 21,5 | 5,1 | 50,8 |
| Tanzanie | 1991 | 38,6 | 2000-01 | 35,7 | 1991-92 ^a | 72,6 | 29,7 | 91,3 | 2000-01 ^a | 88,5 | 46,8 | 96,6 |
| Tchad | 1995-96 | 43,4 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 2002-03 ^a | 61,9 | 25,6 | 83,3 |
| Thaïlande | 1994 | 9,8 | 1998 | 13,6 | 2002 ^a | <2,0 | <0,5 | 15,1 | 2004 ^a | <2,0 | <0,5 | 11,5 |
| Togo | 1987-89 | 32,3 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | 2006 ^a | 38,7 | 11,4 | 69,3 |
| Tunisie | 1990 | 7,4 | 1995 | 7,6 | 1995 ^a | 6,5 | 1,3 | 20,4 | 2000 ^a | 2,6 | <0,5 | 12,8 |
| Turkménistan | .. | .. | .. | .. | 1993 ^c | 63,5 | 25,8 | 85,7 | 1998 ^b | 24,8 | 7,0 | 49,6 |
| Turquie | 1994 | 28,3 | 2002 | 27,0 | 2002 ^a | 2,0 | <0,5 | 9,6 | 2005 ^a | 2,7 | 0,9 | 9,0 |
| Ukraine | 2000 | 31,5 | 2003 | 19,5 | 2002 ^a | <2,0 | <0,5 | 3,4 | 2005 ^a | <2,0 | <0,5 | <2,0 |
| Uruguay | 1994 | 20,2 ^b | 1998 | 24,7 ^b | 2005 ^{b,c} | <2,0 | <0,5 | 4,5 | 2006 ^{b,c} | <2,0 | <0,5 | 4,2 |
| Vénézuëla, R. B. de | 1989 | 31,3 | 1997-99 | 52,0 | 2003 ^c | 18,4 | 8,8 | 31,7 | 2006 ^c | 3,5 | 1,2 | 10,2 |
| Viet Nam | 1998 | 37,4 | 2002 | 28,9 | 2004 ^a | 24,2 | 5,1 | 52,5 | 2006 ^a | 21,5 | 4,6 | 48,4 |
| Yémen, Rép. du | 1998 | 41,8 | .. | .. | 1998 ^a | 12,9 | 3,0 | 36,3 | 2005 ^a | 17,5 | 4,2 | 46,6 |
| Zambie | 1998 | 72,9 | 2004 | 68,0 | 2002-03 ^a | 64,6 | 27,1 | 85,1 | 2004-05 ^a | 64,3 | 32,8 | 81,5 |
| Zimbabwe | 1990-91 | 25,8 | 1995-96 | 34,9 | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

a. Sur la base des dépenses. b. Ne couvre que les zones urbaines. c. Sur la base des revenus. d. Ajusté sur la base des informations géographiques sur les indices de prix à la consommation. e. Pour des raisons de sécurité, l'enquête n'a couvert que 56 % des villages ruraux et 65 % de la population rurale. f. Moyenne pondérée des estimations urbaines et rurales. g. Ne couvre que les zones rurales. h. Le plan d'enquête ayant été modifié, l'enquête la plus récente n'est pas totalement comparable à la précédente. i. L'enquête couvre la région métropolitaine d'Asunción.

Tableau 6 Indicateurs de base pour les autres économies

| | Population | | | Composition de la population par âge 0-14 ans (%) | Revenu national brut (RNB) | | Évaluation PPA du revenu national brut (RNB) | | Produit intérieur brut par habitant, % accroiss. 2007-2008 | Espérance de vie à la naissance | | Taux d'alphabétisation des adultes dès 15 ans et plus (%) |
|------------------------------|---------------|--|---|---|----------------------------|-----------------------|--|-----------------------|--|---------------------------------|-----------------------|---|
| | Milliers 2008 | Taux de croissance annuel moyen en % 2000-08 | Densité de population au km ² 2008 | | USD milliards 2008 | USD par habitant 2008 | USD millions 2008 | USD par habitant 2008 | | Hommes Nb années 2007 | Femmes Nb années 2007 | |
| Andorre | 84 | 3,7 ^c | 178 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Antigua-et-Barbuda | 86 | 1,3 | 194 | .. | 1 165 | 13 620 | 1 760 ^f | 20 570 ^f | 1,6 | .. | .. | .. |
| Antilles néerlandaises | 194 | 0,9 | 242 | 21 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 71 | 79 | 96 |
| Aruba | 105 | 1,9 | 586 | 20 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 72 | 77 | 98 |
| Bahamas, les | 335 | 1,3 | 33 | 26 | .. | .. ^e | .. | .. | -0,2 | 71 | 76 | .. |
| Bahreïn | 767 | 2,1 | 1 080 | 27 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 74 | 77 | 89 |
| Barbades | 255 | 0,2 | 594 | 18 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 74 | 80 | .. |
| Belize | 311 | 2,7 | 14 | 36 | 1 186 | 3 820 | 1 875 ^f | 6 040 ^f | 0,9 | 73 | 79 | .. |
| Bermudes | 64 | 0,4 | 1 284 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | 4,3 | 76 | 82 | .. |
| Bhoutan | 687 | 2,5 | 15 | 31 | 1 302 | 1 900 | 3 349 | 4 880 | 12,0 | 64 | 68 | 53 |
| Botswana | 1 905 | 1,2 | 3 | 34 | 12 328 | 6 470 | 24 964 | 13 100 | -2,2 | 50 | 51 | 83 |
| Brunei Darussalam | 397 | 2,2 | 75 | 27 | 10 211 | 26 740 | 19 540 | 50 200 | -7,3 | 75 | 80 | 95 |
| Cap-Vert | 499 | 1,6 | 124 | 37 | 1 561 | 3 130 | 1 720 | 3 450 | 4,5 | 68 | 74 | 84 |
| Chypre | 864 | 1,2 | 93 | 18 | 19 617 ^h | 22 950 ^h | 20 549 | 24 040 | 3,3 | 77 | 82 | 98 |
| Comores | 644 | 2,2 | 346 | 38 ^g | 483 | 750 | 754 | 1 170 | -1,4 | 63 | 67 | 75 |
| Corée, Rép, dém, de | 23 858 | 0,5 | 198 | 22 | .. | .. ^j | .. | .. | .. | 65 | 69 | .. |
| Cuba | 11 247 | 0,1 | 102 | 18 | .. | .. ^d | .. | .. | .. | 76 | 80 | 100 |
| Djibouti | 848 | 1,9 | 37 | 37 | 957 | 1 130 | 1 972 | 2 330 | 2,1 | 54 | 56 | .. |
| Dominique | 73 | 0,3 | 98 | .. | 349 | 4 770 | 607 ^f | 8 300 ^f | 2,9 | .. | .. | .. |
| Estonie | 1 341 | -0,3 | 32 | 15 | 19 131 | 14 270 | 25 848 | 19 280 | -3,6 | 67 | 79 | 100 |
| Fidji | 839 | 0,6 | 46 | 32 | 3 300 | 3 930 | 3 578 | 4 270 | -0,3 | 67 | 71 | .. |
| Gabon | 1 448 | 2,0 | 6 | 37 | 10 490 | 7 240 | 17 766 | 12 270 | 0,2 | 59 | 62 | 86 |
| Gambie, La | 1 660 | 3,0 | 166 | 42 | 653 | 390 | 2 130 | 1 280 | 3,0 | 54 | 57 | .. |
| Grenade | 106 | 0,6 | 310 | 28 | 603 | 5 710 | 850 ^f | 8 060 ^f | 2,2 | 67 | 70 | .. |
| Groenland | 57 | 0,1 | 0 ⁱ | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Guam | 175 | 1,5 | 325 | 28 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 73 | 78 | .. |
| Guinée équatoriale | 659 | 2,8 | 24 | 41 | 9 875 | 14 980 | 14 305 | 21 700 | 8,4 | 49 | 51 | .. |
| Guinée-Bissau | 1 575 | 2,4 | 56 | 43 | 386 | 250 | 832 | 530 | 0,5 | 46 | 49 | .. |
| Guyane | 763 | 0,1 | 4 | 30 | 1 081 | 1 420 | 1 916 ^f | 2 510 ^f | 3,1 | 64 | 70 | .. |
| Îles Anglo-Normandes | 149 | 0,2 | 787 | 16 | 10 241 | 68 640 | .. | .. | 5,7 | 77 | 81 | .. |
| Îles Caïmans | 54 | 3,7 | 209 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | 99 |
| Îles de Man | 81 | 0,6 | 141 | .. | 3 516 | 43 710 | .. | .. | 7,3 | .. | .. | .. |
| Îles Féroé | 49 | 0,7 | 35 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 77 | 81 | .. |
| Îles Mariannes du Nord | 85 | 2,3 ^c | 186 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Îles Marshall | 60 | 1,9 | 331 | .. | 195 | 3 270 | .. | .. | -0,8 | .. | .. | .. |
| Îles Salomon | 507 | 2,5 | 18 | 39 | 598 | 1 180 | 1 309 ^f | 2 580 ^f | 4,9 | 63 | 64 | .. |
| Îles Vierges (É.-U.) | 110 | 0,1 | 314 | 21 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 76 | 82 | .. |
| Islande | 317 | 1,5 | 3 | 21 | 12 702 | 40 070 | 7 993 | 25 220 | -1,6 | 79 | 83 | .. |
| Jamaïque | 2 689 | 0,5 | 248 | 30 | 13 098 | 4 870 | 19 785 ^f | 7 360 ^f | -1,8 | 70 | 75 | 86 |
| Kiribati | 97 | 1,7 | 119 | .. | 193 | 2 000 | 353 ^f | 3 660 ^f | 1,8 | 59 | 63 | .. |
| Kosovo | .. | .. | .. | .. | .. | .. ^k | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Koweït | 2 728 | 2,7 | 153 | 23 | 99 865 | 38 420 | 136 748 | 52 610 | 3,7 | 76 | 80 | 94 |
| Lesotho | 2 017 | 0,8 | 66 | 39 | 2 179 | 1 080 | 4 033 | 2 000 | 3,4 | 43 | 42 | .. |
| Lettonie | 2 266 | -0,6 | 36 | 14 | 26 883 | 11 860 | 37 943 | 16 740 | -4,2 | 66 | 77 | 100 |
| Liechtenstein | 36 | 1,1 | 222 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Luxembourg | 488 | 1,4 | 188 | 18 | 41 406 | 84 890 | 31 372 | 64 320 | -2,5 | 76 | 82 | .. |
| Macao, Chine | 526 | 2,2 | 18 659 | 13 | 18 142 | 35 360 | 26 811 | 52 260 | 10,4 | 79 | 83 | 94 |
| Macédoine, ERY | 2 038 | 0,2 | 80 | 18 | 8 432 | 4 140 | 20 266 | 9 950 | 5,0 | 72 | 77 | 97 |
| Maldives | 310 | 1,6 | 1 035 | 29 | 1 126 | 3 630 | 1 639 | 5 280 | 4,0 | 68 | 69 | 97 |
| Malte | 411 | 0,7 | 1 286 | 16 | 6 825 | 16 680 | 9 192 | 22 460 | 3,1 | 77 | 82 | 92 |
| Maurice | 1 269 | 0,8 | 625 | 23 | 8 122 | 6 400 | 15 841 | 12 480 | 4,7 | 69 | 76 | 87 |
| Mayotte | 191 | 2,9 ⁱ | 511 | 40 | .. | .. ^d | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Micronésie, États fédérés de | 111 | 0,5 | 159 | 37 | 260 | 2 340 | 334 ^f | 3 000 ^f | -1,3 | 68 | 69 | .. |
| Monaco | 33 | 0,3 ^c | 16 821 | .. | .. | .. ^e | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Mongolie | 2 632 | 1,2 | 2 | 27 | 4 411 | 1 680 | 9 158 | 3 480 | 7,9 | 64 | 70 | 97 |
| Monténégro | 622 | -0,7 | 45 | 20 | 4 008 | 6 440 | 8 661 | 13 920 | 6,9 | 72 | 76 | .. |
| Namibie | 2 114 | 1,5 | 3 | 37 | 8 880 | 4 200 | 13 248 | 6 270 | 1,0 | 52 | 53 | 88 |
| Nouvelle-Calédonie | 246 | 1,8 | 13 | 26 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 72 | 80 | 96 |
| Oman | 2 785 | 1,8 | 9 | 32 | 32 755 | 12 270 | 55 126 | 20 650 | 5,1 | 74 | 77 | 84 |
| Palaos | 20 | 0,7 | 44 | .. | 175 | 8 650 | .. | .. | -1,6 | 66 | 72 | .. |

Tableau 6 Indicateurs de base pour les autres économies

| | Population | | | | Revenu national brut (RNB) | | Évaluation PPA du revenu national brut (RNB) | | | Espérance de vie à la naissance | | Taux d'alphabétisation des adultes dès 15 ans et plus (%) |
|---------------------------------|---------------|--|---|---|----------------------------|-----------------|--|---------------------|--|---------------------------------|----------------|---|
| | Milliers 2008 | Taux de croissance annuel moyen en % 2000-08 | Densité de population au km ² 2008 | Composition de la population par âge 0-14 ans (%) | USD | USD par | USD | USD par | Produit intérieur brut par habitant, % accroiss. 2007-2008 | Hommes | Femmes | |
| | | | | | milliards 2008 | habitant 2008 | millions 2008 | habitant 2008 | | Nb années 2007 | Nb années 2007 | |
| Polynésie française | 266 | 1,5 | 73 | 26 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 72 | 77 | .. |
| Porto Rico | 3 954 | 0,4 | 446 | 21 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 74 | 83 | .. |
| Qatar | 1 281 | 9,1 | 116 | 16 | .. | .. ^e | .. | .. | .. | 75 | 77 | 93 |
| Sainte-Lucie | 170 | 1,1 | 279 | 27 | 940 | 5 530 | 1 561 ^f | 9 190 ^f | 1,1 | 73 | 76 | .. |
| Saint-Kitts et Nevis | 49 | 1,3 | 189 | .. | 539 | 10 960 | 746 ^f | 15 170 ^f | 8,8 | .. | .. | .. |
| Saint-Marin | 31 | 1,3 ^m | 517 | .. | 1 430 | 46 770 | .. | .. | 3,1 | 79 | 85 | .. |
| Saint-Vincent-et-les-Grenadines | 109 | 0,1 | 280 | 27 | 561 | 5 140 | 957 ^f | 8 770 ^f | 0,9 | 69 | 74 | .. |
| Samoa | 182 | 0,6 | 64 | 40 | 504 | 2 780 | 789 ^f | 4 340 ^f | -3,6 | 69 | 75 | 99 |
| Samoa américaines | 66 | 1,7 | 331 | .. | .. | .. ^d | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| São Tomé-et-Príncipe | 161 | 1,7 | 168 | 41 | 164 | 1 020 | 286 | 1 780 | 3,9 | 64 | 67 | 88 |
| Seychelles | 86 | 0,8 | 188 | .. | 889 | 10 290 | 1 707 ^f | 19 770 ^f | 1,3 | 69 | 78 | .. |
| Slovénie | 2 039 | 0,3 | 101 | 14 | 48 973 | 24 010 | 54 875 | 26 910 | 2,5 | 74 | 82 | 100 |
| Suriname | 515 | 1,2 | 3 | 29 | 2 570 | 4 990 | 3 674 ^f | 7 130 ^f | 6,0 | 65 | 73 | 90 |
| Swaziland | 1 168 | 1,0 | 68 | 40 | 2 945 | 2 520 | 5 852 | 5 010 | 1,1 | 46 | 45 | .. |
| Timor oriental | 1 098 | 3,7 | 74 | 45 | 2 706 | 2 460 | 5 150 ^f | 4 690 ^f | 9,6 | 60 | 62 | .. |
| Tonga | 104 | 0,6 | 144 | 37 | 265 | 2 560 | 402 ^f | 3 880 ^f | 0,7 | 69 | 75 | 99 |
| Trinidad et Tobago | 1 338 | 0,4 | 261 | 21 | 22 123 | 16 540 | 32 033 ^f | 23 950 ^f | 3,0 | 68 | 72 | 99 |
| Vanuatu | 231 | 2,5 | 19 | 39 | 539 | 2 330 | 910 ^f | 3 940 ^f | 4,2 | 68 | 72 | 78 |

a. Calculé par la méthode de l'Atlas de la Banque mondiale. b. PPA signifie parité du pouvoir d'achat ; voir les Notes techniques. c. Les données couvrent la période 2003-2007. d. Considéré, sur la base des estimations comme ayant un revenu intermédiaire, tranche supérieure (USD 3 856 à USD 11 905). e. Considéré, sur la base des estimations, comme ayant un revenu élevé (USD 11 906 ou plus). f. Estimations effectuées par une analyse de régression ; les autres chiffres sont des extrapolations des estimations de référence les plus récentes du Projet de comparaison internationale. g. Y compris Mayotte. h. À l'exclusion de la zone chypriote turque. i. Moins de 0,5. j. Considéré, sur la base des estimations, comme ayant un revenu faible (USD 975 ou moins). k. Considéré, sur la base des estimations, comme ayant un revenu intermédiaire, tranche inférieure (USD 976 à USD 3 855). l. Les données couvrent la période 2002-2007. m. Les données couvrent la période 2004-2007.

Notes techniques

Les notes techniques examinent les sources et méthodes utilisées pour compiler les indicateurs inclus dans cette édition des grands indicateurs du développement dans le monde. Les notes sont organisées dans l'ordre dans lequel les indicateurs apparaissent dans les tableaux.

Sources

Les données incluses dans les grands indicateurs du développement dans le monde sont tirées de World Development Indicators 2009. Toutefois, les révisions apportées aux données après date-butoir de cette édition ont été incluses dans la mesure du possible. Par ailleurs, les estimations de la population et du RNB par habitant pour 2008 qui viennent d'être publiées ont été incluses dans le tableau 1 et dans le tableau 6.

La Banque mondiale a recours à diverses sources pour établir les statistiques publiées dans World Development Indicators. Les données relatives à la dette extérieure sont directement communiquées à la Banque mondiale par ses pays membres en développement au moyen du système de notification de la dette. Les autres données proviennent essentiellement des Nations Unies et de ses institutions spécialisées, du FMI, et des rapports communiqués par les pays à la Banque mondiale. Les estimations des services de la Banque sont aussi utilisées dans le but de mettre à jour ou d'accroître la cohérence des données. Pour la plupart des pays, les estimations des comptes nationaux sont obtenues des gouvernements membres par les missions économiques de la Banque mondiale. Dans certains cas, elles sont ajustées par les services de la banque de manière à assurer leur conformité avec les définitions et les concepts retenus au plan international. La plupart des données sociales provenant de sources nationales sont extraites des dossiers administratifs, d'enquêtes spéciales ou de recensements périodiques.

Des notes plus détaillées sur les données sont présentées par la publication de la Banque mondiale intitulée World Development Indicators 2009.

Cohérence et fiabilité des données

Des efforts considérables ont été déployés pour normaliser les données ; il est toutefois impossible d'assurer une parfaite comparabilité des données et il importe donc de faire preuve de prudence dans le cadre de l'interprétation des indicateurs. De nombreux facteurs influent sur la disponibilité, la comparabilité et la fiabilité des données ; les systèmes statistiques de beaucoup d'économies en développement présentent encore des lacunes ; les méthodes, les couvertures, les pratiques et les définitions statistiques varient fortement d'un pays à un autre ; les comparaisons entre pays et d'une période à une autre posent toujours des problèmes techniques et théoriques complexes qu'il est impossible de résoudre parfaitement. Il se peut que la couverture des données ne soit pas exhaustive en raison de circonstances particulières dans le cas d'économies

rencontrant des problèmes (par exemple due à des conflits) qui ont un impact sur la collecte et la présentation des données. C'est pourquoi, bien que les données proviennent des sources considérées comme les plus fiables, il importe de les considérer uniquement comme des indications de tendance ou des descriptions des différences majeures entre les économies plutôt que comme des mesures quantitatives précises de ces différences. Les divergences constatées au niveau des données présentées dans différentes éditions tiennent aux mises à jour des données effectuées par les pays et aux révisions apportées aux séries chronologiques ou encore à l'adoption de nouvelles méthodes. Il est donc recommandé aux lecteurs de ne pas comparer les séries de données de publications différentes ou d'éditions différentes d'une même publication de la Banque mondiale. Ceux-ci trouveront des séries chronologiques cohérentes sur le CD-ROM de World Development Indicators 2009 et dans WDI Online.

Ratios et taux de croissance

Les tableaux présentent généralement les données sous forme de ratios et de taux de croissance, et non les valeurs à partir desquelles ces derniers ont été calculés, de manière à faciliter la consultation. Les valeurs initiales figurent sur le CD-ROM de World Development Indicators 2009. Sauf indication contraire, les taux de croissance ont été calculés par la méthode des moindres carrés (voir la section intitulée « méthodes statistique »). Cette méthode prenant en compte toutes les observations disponibles sur une période, les taux de croissance qui en résultent reflètent des tendances générales qui ne sont pas indûment influencées par des valeurs exceptionnelles. Afin d'éliminer les effets de l'inflation, il est procédé au calcul des taux de croissance sur la base d'indicateurs économiques en prix constants. Les données en italique se rapportent à d'autres années ou à d'autres périodes que celle indiquée en tête de colonnes, dans une fourchette allant jusqu'à deux ans avant ou après la période de l'année considérée pour les indicateurs économiques et jusqu'à 300 avant ou après ladite année ou période pour les indicateurs sociaux, car les données relatives à ces derniers sont en général collectées moins régulièrement et changent de manière moins prononcée sur de courtes périodes.

Séries de prix constants

La croissance d'une économie est mesurée par l'augmentation de la valeur ajoutée produite par les personnes physiques et les personnes morales qui opèrent dans cette économie. Pour mesurer la croissance réelle, il faut donc disposer d'estimations du PIB et de ses composantes évaluées en prix constants. La banque mondiale collecte des séries de données sur les comptes nationaux en prix constants, exprimées en monnaies nationales et enregistrées pour l'année de base retenue par le pays considéré. Pour obtenir des séries de données en prix constants qui soient comparables, la banque ramène les

valeurs du PIB et de la valeur ajoutée par branche d'activité à une même année de référence (2000 pour la version actuelle des World Development Indicators. Ce processus fait apparaître un écart entre le PIB ramené à la nouvelle base et la somme de ses composantes également ramenées à la nouvelle base. L'allocation de cet écart étant source de distorsions pour le taux de croissance, il n'est pas procédé à cette opération.

Chiffres récapitulatifs

Les chiffres récapitulatifs par région et par catégorie de revenu, indiqué à la fin de la plupart des tableaux, sont calculés par simple addition lorsque les données communiquées pour une variable sont exprimées en valeur absolue. Les taux de croissance globaux et les ratios sont généralement et moyenne pondérés. Pour les indicateurs sociaux, les chiffres récapitulatifs sont pondérés par la population ou des sous-groupes de la population, à l'exception de ceux de la mortalité infantile qui sont pondérés par le nombre de naissances. Le lecteur est invité à se reporter aux notes relatives aux indicateurs en question pour de plus amples informations.

Lorsque les chiffres récapitulatifs portent sur un grand nombre d'années, les calculs sont fondés sur un ensemble uniforme d'économies de sorte que la composition du groupe ne se modifie pas d'une année sur l'autre. Les indicateurs de groupe ne sont calculés que si les économies pour lesquelles on dispose de statistiques pour une année donnée représentent au moins les deux tiers de l'ensemble du groupe, tel qu'il est défini pour l'année de référence, c'est-à-dire 2000. Tant que cette condition est remplie, les économies pour lesquelles on ne dispose pas de données sont supposées avoir évolué de la même manière que les économies qui ont communiqué des estimations. Le lecteur ne doit pas perdre de vue que les chiffres récapitulatifs sont des estimations d'un agrégat représentatif pour chaque rubrique et qu'il n'est pas possible de déduire quoi que ce soit de significatif sur le comportement d'une économie ou d'une autre à partir des indicateurs globaux. En outre, le processus d'estimation peut faire apparaître des écarts entre la somme des totaux par sous-groupe et les totaux généraux.

Tableau 1. Principaux indicateurs du développement

La **population** totale comprend tous les résidents d'une économie, quelque soit leur statut juridique ou leur citoyenneté, à l'exclusion des réfugiés qui ne sont pas installés définitivement dans le pays d'accueil et qui sont généralement considérés comme appartenant à la population de leur pays d'origine. Les valeurs indiquées sont des estimations en milieu d'année. (Banque mondiale, Division de la population des Nations Unies, et Eurostat).

Le **taux de croissance annuel moyen de la population** est le taux de variation exponentielle sur la période (voir la section consacrée aux méthodes statistiques). (Eurostat, Division de la population des Nations Unies, et Banque mondiale).

La **densité de population** est le rapport entre le nombre d'habitants en milieu d'année et superficie des terres en kilomètres carrés. La superficie des terres est la superficie totale d'un pays, non compris la superficie couverte par les eaux intérieures. (Eurostat, Division de la population des Nations Unies, et Banque mondiale).

La **composition de la population par âge, 0 à 14 ans** est le pourcentage de la population totale âgée de zéro à 14 ans. (Eurostat, Division de la population des Nations Unies, et Banque mondiale)

Le **revenu national brut** (RNB), qui est l'indicateur le plus général du revenu national, mesure la valeur ajoutée totale par des sources nationales et étrangères revenant aux résidents d'une économie. Le RNB est égal à la somme du PIB et des revenus primaires provenant d'unités non résidentes. Les données en monnaies nationales sont converties en dollars des États-Unis courants par la méthode utilisée pour l'Atlas de la Banque mondiale. Cette opération donne lieu à l'utilisation d'une moyenne sur trois ans pour lisser les effets des fluctuations temporaires des taux de change. (Voir la section consacrée aux méthodes statistiques pour un examen plus détaillé de la méthode de l'Atlas.) (Banque mondiale)

Le **RNB par habitant** est égal au RNB divisé par la population en milieu d'année. Le chiffre obtenu est converti en dollars courants par la méthode de l'Atlas. La Banque mondiale classe les pays en fonction de leur RNB par habitant en dollars des États-Unis à des fins analytiques et pour déterminer leur éligibilité à emprunter. (Banque mondiale)

Le **revenu national brut sur la base de la PPA** est égal au RNB converti en dollars internationaux au moyen des facteurs de conversion de la parité du pouvoir d'achat (PPA). Les taux de change ne reflétant pas toujours les différences entre les prix relatifs sur les marchés de différents pays, le présent tableau convertit les estimations du RNB et du RNB par habitant en dollars internationaux sur la base du taux de la PPA. Ces derniers taux fournissent un indicateur type qui permet de comparer les niveaux réels des dépenses entre pays de la même manière que les indices des prix conventionnels permettent de comparer les valeurs réelles à différentes périodes. Les facteurs de conversion PPA utilisés ici ont été établis sur la base des enquêtes sur les prix réalisés par le Projet de comparaison internationale menée dans 146 pays. Dans le cas des pays de l'OCDE, les données proviennent des séries d'enquêtes les plus récentes qui se sont achevées en 2005. Les estimations relatives aux pays qui ne sont pas couverts par les enquêtes ont été calculées au moyen de modèles statistiques et des données disponibles. Pour plus d'information sur le Programme de comparaison 2005, se rendre à l'adresse www.worldbank.org/data/icp. (Banque mondiale, Eurostat/OCDE)

Le **RNB par habitant sur la base de la PPA** est égale au RNB sur la base de la PPA divisé par la population en milieu d'année. (Banque mondiale, Eurostat/OCDE)

Le **taux de croissance du produit intérieur brut (PIB) par habitant** est basé sur le PIB mesuré en prix constants. Il est considéré constituer un indicateur général de l'expansion d'une économie. Il est possible d'estimer le PIB en prix constants en mesurant les quantités totales de biens et de services produites durant une période déterminée, en évaluant ces quantités au moyen d'une série de prix en vigueur durant une année de base convenue, et en retranchant de la valeur obtenue le coût des intrants intermédiaires, également évalué en prix constants. Voir la section sur les méthodes statistiques pour de plus amples détails sur le calcul du taux de croissance par la méthode des moindres carrés. (Banque mondiale, Eurostat/OCDE)

L'**espérance de vie à la naissance** indique le nombre d'années que vivrait un nouveau-né si les tendances de la mortalité observées à la date de sa naissance restaient inchangées tout au long de son existence. Les données sont présentées séparément pour les hommes et pour les femmes. (Eurostat, Division de la population des Nations Unies, et Banque mondiale)

Le **taux d'alphabétisation des adultes** est la proportion des personnes âgées de 15 ans et plus sachant lire, en le comprenant, et écrire intelligiblement, un texte court et simple sur leur vie quotidienne. En pratique, il est difficile de mesurer l'alphabétisme. Pour évaluer le taux d'alphabétisme sur la base de cette définition, il faut établir des mesures à partir de recensement ou d'enquête par sondage mené dans les conditions bien définies. De nombreux pays estiment le nombre d'adultes alphabétisés à partir des déclarations mêmes des intéressés. D'autres utilisent les données sur le nombre d'années de scolarité comme variable de remplacement mais retiennent des scolarités de longueurs différentes ou des niveaux d'achèvement de la scolarité différents. Les définitions et les méthodes de collecte des données diffèrent d'un pays à un autre, il importe d'interpréter ces données avec prudence. (Institut de statistique de l'UNESCO)

Tableau 2. Pauvreté

La Banque mondiale prépare périodiquement des évaluations de la pauvreté dans les pays dans lesquels elle poursuit un programme d'activités, en étroite collaboration avec les institutions nationales, d'autres organismes de développement et des groupes de la société civile, notamment les organisations représentant des groupes de populations pauvres. Les évaluations de la pauvreté indiquent l'ampleur et les causes de la pauvreté et proposent des stratégies pour la réduire. Depuis 1992, la Banque mondiale a réalisé environ 200 évaluations de la pauvreté, qui sont les principales sources des données utilisées pour établir les estimations sur la base des seuils de pauvreté nationaux présentés dans le tableau. Les pays font état d'évaluations similaires dans le cadre de leur Stratégie de réduction de la pauvreté.

La Banque mondiale produit également des estimations de la pauvreté sur la base de seuils de pauvreté internationaux pour suivre les progrès accomplis dans la lutte contre la pauvreté à l'échelle mondiale. Les premières estimations de la pauvreté pour l'ensemble des pays en développement ont été produites pour le « Rapport sur le développement dans le monde 1990 : La pauvreté », sur la base des données d'enquêtes auprès des ménages menés dans 22 pays (Ravallion, Datt, et van de Walle 1991). Depuis lors, le nombre de pays procédant à des enquêtes sur le terrain portant sur les revenus et les dépenses des ménages a considérablement augmenté.

Seuils de pauvreté nationaux et internationaux. Les seuils de pauvreté nationaux permettent d'effectuer des estimations de la pauvreté dans le contexte des conditions économiques et sociales particulières de l'économie considérée mais qui ne peuvent être employés pour procéder à des comparaisons des taux de pauvreté à l'échelle internationale. Les niveaux auxquels sont fixés les seuils de pauvreté nationaux sont fonction des niveaux de consommation ou de revenu jugés, dans le pays, nécessaires pour ne pas être pauvres. La limite subjective qui sépare une personne pauvre et une personne non pauvre augmente avec le revenu moyen d'une économie et ne constitue donc pas une mesure pouvant être utilisée de manière uniforme pour comparer les taux de pauvreté d'un pays à un autre. Les estimations de la pauvreté nationales sont néanmoins manifestement l'indicateur qu'il convient d'utiliser pour définir les politiques nationales de lutte contre la pauvreté et assurer le suivi de leurs résultats.

La comparaison des estimations de la pauvreté au plan international pose des problèmes aussi bien théoriques que pratiques. La pauvreté est définie de manière différente selon les pays et il est difficile d'effectuer des comparaisons cohérentes entre ces derniers. Les seuils de pauvreté nationaux correspondent généralement à des pouvoirs d'achat plus élevés dans les pays riches, qui ont des normes plus généreuses que les pays pauvres. L'établissement de seuils de pauvreté internationaux vise à maintenir la valeur réelle du seuil de pauvreté à un niveau constant d'un pays à un autre, comme pour les comparaisons dans le temps, quel que soit le revenu moyen des économies considérées.

Depuis le Rapport sur le développement dans le monde 1990, la Banque mondiale s'efforce d'appliquer une norme commune pour mesurer l'extrême pauvreté, qui correspond à la notion de pauvreté dans les pays les plus pauvres du monde. Il est possible de mesurer le degré de bien-être de personnes vivant dans des pays différents en se référant à une même échelle à condition de procéder à un ajustement pour prendre en compte les différences qui existent entre les pouvoirs d'achat des différentes monnaies. La norme habituellement utilisée, c'est-à-dire 1 dollar par jour, aux prix mondiaux de 1985, ajustée en monnaie nationale sur la base de la PPA, a été retenue pour le Rapport sur le développement dans le monde

1990 parce qu'elle était représentative des seuils de pauvreté des pays à faible revenu à l'époque. Par la suite, ce seuil a été porté à 1,08 dollar par jour, aux prix mondiaux de 1993. Plus récemment, les seuils de pauvreté internationaux ont été révisés sur la base des nouvelles données relatives à la PPA compilées sur la base des séries d'enquêtes de 2005 du Programme de comparaison internationale ainsi que de données générées par une série plus importante d'enquêtes sur le revenu et la consommation des ménages. Le nouveau seuil d'extrême pauvreté est de 1,25 dollar par jour sur la base de la PPA de 2005, et correspond à la moyenne des seuils de pauvreté des 15 pays les plus pauvres classés en fonction de leur consommation par habitant. Le nouveau seuil de pauvreté repose sur la même norme d'extrême pauvreté – le seuil de pauvreté caractéristique des pays les plus pauvres du monde – mais il actualise son niveau sur la base des dernières informations disponibles sur le coût de la vie dans les pays en développement.

Qualité et disponibilité des données d'enquêtes. Les estimations de la pauvreté sont calculées à partir des données d'enquêtes menées sur le terrain pour collecter, entre autres, des informations sur le revenu ou la consommation d'un échantillon de ménages. Pour pouvoir contribuer utilement à l'estimation de la pauvreté, les enquêtes doivent être représentatives sur le plan national et inclure suffisamment d'informations pour qu'il soit possible de calculer une estimation globale du montant total de la consommation ou des revenus des ménages (y compris l'autoconsommation ou le revenu tiré par les ménages de leur propre production), à partir de laquelle il est possible d'établir la répartition de la consommation ou du revenu par habitant correctement pondérée. Au cours des 20 dernières années, le nombre de pays qui procèdent à des enquêtes et la fréquence de ces enquêtes ont considérablement augmenté. La qualité des données générées s'est aussi grandement améliorée. La base de données de la Banque mondiale utilisée pour assurer le suivi de la pauvreté est maintenant alimentée par plus de 600 enquêtes couvrant 115 pays en développement. Plus de 1,2 million de ménages sélectionnés par un processus d'échantillonnage aléatoire ont été interrogés dans le cadre de ces enquêtes, et représentent 96 % de la population des pays en développement.

Problèmes posés par l'utilisation des données des enquêtes. Outre la fréquence et le degré d'actualité des données des enquêtes, d'autres problèmes se posent lorsque l'on s'efforce de mesurer les niveaux de vie des ménages. L'un d'eux a trait au choix du revenu ou de la consommation comme indicateur de bien-être. Il est généralement plus difficile de mesurer le revenu de manière précise, et la consommation est plus directement liée au concept de niveau de vie. Le revenu peut en outre se modifier sur une certaine période sans que le niveau de vie ne change pour autant. Toutefois, les don-

nées sur la consommation ne sont pas toujours disponibles : les dernières estimations présentées dans cette édition sont basées sur des données sur la consommation pour environ deux tiers des pays. Une autre difficulté tient au fait que des enquêtes similaires peuvent ne pas être strictement comparables parce qu'elles identifient un nombre différent de catégories de biens de consommation, demandent aux personnes qui répondent à l'enquête d'indiquer leurs dépenses pour des périodes de durées différentes et sont effectuées par des enquêteurs ayant des compétences et des formations différentes. Le refus de certains enquêtés de participer à une enquête peut également être source de difficultés dans certains cas.

Les différences concernant l'importance relative de la consommation de biens non marchands rendent les comparaisons difficiles entre pays ayant atteint des niveaux de développement différents. La valeur sur le marché local de la consommation en nature (y compris la consommation par un ménage de sa propre production, qui est particulièrement importante dans les économies rurales les moins développées) devrait être prise en compte dans l'évaluation des dépenses totales de consommation, mais ce n'est pas toujours le cas. Les enquêtes produisent maintenant couramment des valeurs imputées pour l'autoconsommation de la production agricole. Il importe aussi d'inclure dans le revenu le bénéfice imputé au titre de la production de biens non marchands, mais ce n'est pas toujours fait en pratique (bien que cette omission ne constitue plus un problème aussi important qu'il l'était pour les enquêtes réalisées avant les années 80). La plupart des enquêtes produisent maintenant des évaluations de l'autoconsommation des ménages ou des revenus correspondants, bien que les méthodes d'évaluation puissent différer.

Définitions

L'année de l'enquête est l'année pendant laquelle les données de base ont été recueillies.

La population en dessous du seuil de pauvreté national est le pourcentage de la population dont le revenu est inférieur au seuil de pauvreté national. Les estimations nationales sont établies sur la base des estimations effectuées à partir des données des enquêtes auprès de sous-groupes de ménages pondérées par le nombre d'habitants. (Banque mondiale)

La population dont le revenu est inférieur à 1,25 dollar par jour et la population dont le revenu est inférieur à 2 dollars par jour sont les pourcentages de la population ayant, respectivement, moins de 1,25 dollar par jour et moins de deux dollars par jour pour vivre aux prix internationaux de 2005. Par suite des révisions apportées aux taux de change sur la base de la PPA, il n'est pas possible de comparer le taux de pauvreté actuel d'une économie aux taux indiqués pour cette économie dans des éditions précédentes. (Banque mondiale)

L'écart de pauvreté est l'écart négatif moyen par rapport au seuil de pauvreté (étant entendu que cet écart est nul pour

les non pauvres) exprimé en pourcentage du seuil de pauvreté. Cet indicateur mesure l'intensité ainsi que la prévalence de la pauvreté. (Banque mondiale)

Tableau 3. Objectifs de développement pour le Millénaire : éliminer la pauvreté et améliorer les conditions de vie

La **part de la consommation ou du revenu national revenant au quintile le plus pauvre** est la part de la consommation ou, dans certains cas, du revenu imputable aux 20 % les plus pauvres de la population. Il s'agit d'un indicateur de répartition. Les économies qui se caractérisent par une répartition de la consommation (ou du revenu) plus inégale ont un taux de pauvreté plus élevé à un même niveau de revenu moyen. Les données proviennent d'enquêtes auprès de ménages représentatifs au plan national. Les méthodes et le type de données collectées dans le cadre des enquêtes sur les ménages différant d'un pays à un autre, les statistiques de répartition ne sont pas strictement comparables d'une économie à une autre. Les services de la Banque mondiale se sont efforcés de rendre les données aussi comparables que possibles et ils ont utilisé, dans la mesure du possible, les chiffres de la consommation de préférence à ceux du revenu. (Banque mondiale)

L'**emploi précaire** est égal à la somme du nombre de travailleurs familiaux non rémunérés et des personnes travaillant pour leur propre compte exprimée en pourcentage du nombre total d'emplois. Cette proportion est établie sur la base des informations sur le statut de l'emploi. Chaque catégorie de travailleurs est confrontée à des risques économiques différents, et les travailleurs familiaux non rémunérés et les personnes travaillant pour leur propre compte sont les plus vulnérables, et donc ceux qui courent le plus de risque de tomber dans la pauvreté. Ce sont aussi ceux qui ont la probabilité la plus faible de bénéficier de conditions de travail formelles, d'une protection sociale et de filets de sécurité et qui sont souvent dans l'incapacité de générer suffisamment d'épargne pour faire face à ces problèmes. (Organisation internationale du travail)

La **prévalence de la malnutrition juvénile** est le pourcentage d'enfants de moins de cinq ans dont le rapport poids/âge est au moins deux écarts-types en dessous de la médiane de la population de référence internationale âgée de 0 à 59 mois. Le tableau présente les données compte tenu des nouvelles normes de croissance des enfants publiées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2006. Les estimations de la malnutrition juvénile sont basées sur des données provenant d'enquêtes nationales.

La proportion d'enfants souffrant d'un déficit pondéral est l'indicateur de malnutrition le plus couramment employé. Un déficit pondéral, même faible, accroît le risque de décès et compromet le développement cognitif de l'enfant. Ce problème se transmet en outre d'une génération à l'autre car des femmes mal nourries courent davantage de risque de donner naissance à des enfants d'un poids insuffisant. (OMS)

Le **taux d'achèvement du cycle primaire** est le pourcentage des élèves ayant achevé avec succès la dernière année du cycle d'enseignement primaire. Il est égal au nombre total d'élèves en dernière année du primaire, moins le nombre de redoublants pour cette année, divisé par le nombre total d'enfants ayant l'âge théorique pour cette dernière année. Le taux d'achèvement du primaire est calculé sur la base du cycle d'enseignement primaire, tel que défini par la Classification internationale type de l'éducation (CITE), dont la durée va de trois ou quatre ans (dans un très petit nombre de pays) à cinq ou six ans (dans la majorité des pays) et sept ans (dans un petit nombre de pays). Les programmes et les critères définissant ce en quoi consiste l'enseignement primaire varient d'un pays à un autre, un taux élevé d'achèvement du primaire n'implique pas nécessairement un niveau d'apprentissage élevé pour les élèves. (Institut de statistique de l'Unesco)

Les **ratios filles /garçons scolarisés dans le primaire et dans le secondaire** sont les rapports entre le taux brut de scolarisation des filles dans le primaire et dans le secondaire et les taux bruts de scolarisation correspondants des garçons.

Éliminer les disparités entre les garçons et les filles dans l'enseignement contribuerait à améliorer la condition et les capacités des femmes. Cet indicateur est une mesure imparfaite de l'accessibilité relative des filles à l'éducation. Les données sur les inscriptions scolaires sont communiquées à l'Institut de statistique de l'UNESCO par les autorités académiques nationales. L'enseignement primaire inculque aux enfants des connaissances de base en lecture, écriture et calcul et leur donne un aperçu élémentaire de matières telles que l'histoire, la géographie, les sciences naturelles, les sciences sociales, l'art et la musique. L'enseignement secondaire complète l'enseignement de base entrepris au niveau primaire et a pour objet d'établir les fondements d'un apprentissage et d'une valorisation des capacités humaines sur toute la durée de vie en offrant une instruction plus ciblée sur certaines matières et domaines de compétence assurée par des enseignants plus spécialisés. (Institut de statistique de l'Unesco)

Le **taux de mortalité des moins de cinq ans** est égal à la probabilité, représentée par le nombre de décès pour 1 000 enfants, qu'un enfant né l'année considérée mourra avant d'atteindre l'âge de cinq ans si l'on applique le taux de mortalité par âge à la période considérée. Les principales sources de données sur la mortalité sont les bureaux de l'État civil des pays ou bien les estimations effectuées directement ou indirectement sur la base d'enquêtes par sondage ou de recensements. Pour que les estimations de la mortalité des moins de cinq ans puissent être comparable d'un pays à un autre et dans le temps, et pour assurer la compatibilité des estimations établies par des organismes différents, l'UNICEF et la Banque mondiale ont mis au point et adopté une méthode statistique qui utilise toutes les informations disponibles. (Groupe inter-agences sur la mortalité des enfants)

Le **taux de mortalité maternelle** indique le nombre de décès de femmes lié à la maternité, durant la grossesse et lors de l'accouchement, pour 100 000 naissances vivantes. Les chiffres indiqués dans le tableau sont des estimations établies à partir de modèles. Elles ont été calculées dans le cadre d'un exercice mené par l'OMS, le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), le Fonds des Nations Unies pour la population (FNUAP) et la Banque mondiale. Pour les pays dont les systèmes de l'État civil fournissent des données complètes et indiquent correctement la cause du décès, les données sont utilisées telles qu'elles sont déclarées. Pour les pays dont les données nationales, qu'elles proviennent de systèmes d'État civil présentant des données détaillées mais comportant une cause de décès incertaine ou mal indiquée, ou d'enquêtes auprès des ménages, le taux de mortalité maternelle a été ajusté généralement au moyen d'un coefficient de sous-enregistrement ou d'attribution des décès à des causes erronées. Dans le cas des pays dans lesquels il n'y a pas de données nationales empiriques (environ 35 % des pays), la mortalité maternelle a été estimée au moyen d'un modèle de régression et d'informations socio-économiques, notamment le taux de fécondité, le nombre d'accoucheuses et le PIB (OMS, UNICEF, FNUAP, Banque mondiale).

La **prévalence du VIH** et le pourcentage des personnes âgées de 15 à 49 ans infectées par le VIH. Les taux de prévalence du VIH chez les adultes représentent le taux d'infection par le VIH de la population de chaque pays. Des taux de prévalence nationaux peu élevés peuvent toutefois être trompeurs. Ils masquent souvent de graves épidémies, qui sont au départ concentrées dans certains sites ou dans certains groupes de population et menacent de se propager dans la population générale. Dans de nombreuses régions du monde en développement, la plupart des nouveaux cas d'infection apparaissent chez les jeunes adultes ; les jeunes femmes sont particulièrement vulnérables. (Programme commun des Nations Unies sur le VIH/SIDA [ONUSIDA] et OMS)

L'**incidence de la tuberculose** est le nombre estimatif de nouveaux cas de tuberculose (pulmonaire, à frottis positif ou extra pulmonaire). La tuberculose est l'une des principales causes de décès par un unique agent infectieux dans la population adulte des pays en développement. Dans les pays à revenu élevé, la tuberculose réapparaît essentiellement par suite des cas d'infection enregistrés chez les immigrants. Les estimations de l'incidence de la tuberculose portées dans le tableau sont basées sur une méthode donnant lieu à l'ajustement du nombre de cas déclarés par un ratio égal au rapport entre le nombre de cas déclarés et la part estimative des cas dépistés par des panels de 80 épidémiologistes organisés par l'OMS. (OMS)

Les **émissions de dioxyde de carbone** sont les émissions produites par la combustion de combustibles fossiles et la fabrication de ciment ; elles comprennent les émissions associées à la consommation de combustibles solides, liquides

et gazeux et du brûlage des gaz à la torche ; les émissions par habitant sont les émissions divisées par la population en milieu d'année. (Centre d'analyse des informations sur le gaz carbonique, Banque mondiale)

L'**accès à des installations d'assainissement améliorées** est le pourcentage de la population ayant accès à des installations d'évacuation des excréments (privées ou partagées mais non publiques) qui peuvent efficacement empêcher tout contact entre les excréments et les humains, les animaux et les insectes (les installations ne sont pas nécessairement associées à un système de traitement destiné à rendre les eaux d'égout sans danger). Les installations améliorées vont des latrines à fosse simple, mais abritée, aux toilettes avec chasse d'eau et tout-à-l'égout. Pour bien fonctionner, toutes les installations doivent être construites et entretenues correctement. (OMS et UNICEF).

Les **internauts** sont les personnes ayant accès au réseau mondial. (Division des télécommunications internationales)

Tableau 4. Activité économique

Le **produit intérieur brut** est égal à la somme de la valeur ajoutée brute, aux prix d'acquisition, par l'ensemble des producteurs résidents de l'économie, majorée des impôts et minorée des subventions qui ne sont pas inclus dans l'évaluation des produits. Il n'est tenu compte ni de la dépréciation des actifs fabriqués ni de l'épuisement ou de la dégradation des ressources naturelles. La valeur ajoutée est égale à la production nette d'une branche d'activité, qui s'obtient en faisant la somme de tous les produits et en déduisant les facteurs de production intermédiaire. L'origine par branche d'activité de la valeur ajoutée est déterminée sur la base de la classification internationale type par industrie, (CITI) révision 3. La Banque mondiale utilise, par convention, les valeurs en dollars des États-Unis et applique le taux de change officiel indiqué par le FMI pour l'année considérée. Elle utilise toutefois un autre facteur de conversion lorsque le taux de change officiel est considéré diverger par une marge exceptionnellement importante du taux effectivement appliqué aux transactions en devises et aux produits faisant l'objet d'échanges internationaux. (Banque mondiale, OCDE, Nations Unies)

Le **taux de croissance annuel moyen du produit intérieur brut** est calculé à partir des données du PIB en prix constants en monnaie nationale. (Banque mondiale, OCDE, Nations Unies)

La **productivité agricole** est égale au rapport entre la valeur ajoutée agricole, mesurée en dollars de 2000, et le nombre de travailleurs dans le secteur agricole. La productivité agricole est mesurée par la valeur ajoutée par unité de facteurs de production. La valeur ajoutée agricole comprend la valeur ajoutée de la foresterie et de la pêche. Il importe donc de faire preuve de prudence lorsque l'on interprète la productivité des terres. (FAO)

La **valeur ajoutée** est le produit net d'une branche d'activité ; elle est égale à la somme de tous les produits moins les facteurs de production intermédiaires. L'origine par branche d'activité de la valeur ajoutée est déterminée sur la base de la CITI, révision trois. (Banque mondiale)

La **valeur ajoutée agricole** est la valeur ajoutée par les activités correspondant aux divisions 1 à 5 de la CITI, y compris la foresterie et la pêche. (Banque mondiale)

La **valeur ajoutée par l'industrie** est la valeur ajoutée par les activités des industries extractives, manufacturières, le secteur du bâtiment et les secteurs de l'électricité, de l'eau et du gaz (divisions 10 à 45 de la CITI). (Banque mondiale, OCDE, Nations Unies)

La **valeur ajoutée par les services** correspond aux activités des divisions 50 à 99 de la CITI. (Banque mondiale, OCDE, Nations Unies)

Les **dépenses de consommation finale des ménages** correspondent à la valeur marchande de tous les biens et services, y compris les biens de consommation durables (tels qu'automobiles, machines à laver et ordinateurs personnels) achetés par les ménages. Elles ne comprennent pas les achats de logements, mais elles incluent le loyer imputé des logements occupés par leurs propriétaires. Elles comprennent également les paiements et redevances versées à l'État pour obtenir des permis et licences. Dans le présent tableau, les dépenses de consommation des ménages comprennent les dépenses des institutions sans but lucratif au service des ménages, même lorsque celles-ci sont enregistrées séparément dans les comptes nationaux. En pratique, les dépenses de consommation des ménages peuvent comprendre tout écart statistique constaté entre l'emploi et l'offre de ressources. (Banque mondiale, OCDE)

Les **dépenses de consommation finale des administrations publiques** comprennent toutes les dépenses courantes de l'État au titre de l'acquisition de biens et services (y compris les traitements et salaires des employés). Elles comprennent également la plupart des dépenses au titre de la défense nationale et de la sécurité du territoire mais excluent les dépenses militaires qui font partie de la formation de capital de l'État. (Banque mondiale, OCDE)

La **formation brute de capital** comprend les dépenses consacrées à l'accroissement du capital fixe de l'économie, plus les variations nettes du niveau des stocks et des objets de valeur. Le capital fixe recouvre les améliorations foncières (clôtures, fossés, canaux d'écoulement, etc.) ; les installations, et les achats d'outillage et de matériel ; et la construction de bâtiments, de routes, de voies ferrées et autres infrastructures, y compris les établissements commerciaux et industriels, les immeubles de bureaux, les écoles, les hôpitaux et les logements privés. Les stocks comprennent les quantités de marchandises détenues par les entreprises pour faire face à des fluctuations temporaires ou imprévues de la production ou des ventes, et pour exécuter les « opérations en cours ». Selon le SCN 1993, l'acquisition nette d'objets de

valeur est également considérée comme une formation de capital. (Banque mondiale, OCDE)

Le **solde des échanges extérieurs de biens et de services** est égal à la différence entre les exportations et les importations de biens et de services. Les échanges de biens et de services recouvrent toutes les transactions entre les résidents d'une économie et le reste du monde donnant lieu au transfert de la propriété de marchandises diverses, de produits devant faire l'objet d'opérations de transformation ou de réparation, d'or non monétaire et de services. (Banque mondiale, OCDE)

Le **déflateur implicite du PIB** mesure les variations du niveau des prix de toutes les catégories de demande finale, telles que la consommation des administrations publiques, la formation de capital et les échanges internationaux et, principalement, la consommation finale du secteur privé. Il est égal au rapport entre le PIB au prix courant et le PIB en prix constants. Le déflateur du PIB peut également être calculé de manière explicite par la formule de l'indice des prix de Paasche, dans laquelle les coefficients de pondération sont les volumes produits à la période considérée. (Les indicateurs des comptes nationaux de la plupart des pays en développement sont obtenus des organismes statistiques nationaux et des banques centrales par les membres des missions périodiques ou résidentes de la Banque mondiale. Les données relatives aux économies à revenu élevé proviennent de l'OCDE).

Tableau 5. Échanges, aide et flux financiers

La rubrique des **exportations de marchandises** indique la valeur FAB (franco à bord) en dollars des marchandises fournies au reste du monde.

La rubrique des **importations de marchandises** indique la valeur CAF (le coût des marchandises inclut les frais d'assurances et les dépenses de fret), en dollars, des marchandises achetées au reste du monde. (Les données sur les échanges de marchandises sont tirées du rapport annuel de l'Organisation mondiale du commerce (OMC).)

Les **exportations de produits manufacturés** recouvrent les produits classés aux sections 5 (produits chimiques), 6 (articles manufacturés), 7 (machines et équipements de transport) et 8 (articles manufacturés divers), de la Classification type pour le commerce international (CTCI), à l'exception de la division 68. (Base de données de la Division des statistiques des Nations Unies sur le Commerce des produits)

Les **exportations de produits de haute technicité** sont des produits à forte intensité de R-D. Il s'agit notamment de produits de haute technicité dans le domaine de l'aérospatiale, de l'informatique, des produits pharmaceutiques, des instruments scientifiques et des équipements électriques (base de données de la Division des statistiques des Nations Unies sur le Commerce des produits).

Le **solde du compte courant** est égal à la somme des exportations nettes de biens et services, du revenu net et des transferts courants nets. (FMI)

Les **entrées nettes d'investissements étrangers directs** (IED) sont les entrées nettes d'investissements effectués pour acquérir des droits durables (représentant au moins 10 % des actions donnant droit de vote) sur une entreprise fonctionnant dans une autre économie que celle de l'investisseur. Elles sont égales à la somme des participations au capital, des bénéfices réinvestis, des autres capitaux à long terme, et des capitaux à court terme, tels qu'ils apparaissent dans la balance des paiements. (Les données sur les IED sont basées sur les statistiques de la balance des paiements communiquées par le FMI et sur les estimations des services de la Banque mondiale effectuées à partir des données présentées par la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement et par des sources nationales publiques.)

L'**aide publique au développement, nette** (APD) des pays à revenu élevé membres de l'OCDE est la principale source de financement extérieur publique des pays en développement ; une APD est toutefois aussi accordée par certains importants pays donateurs qui ne sont pas membres du CAD de l'OCDE. Le CAD retient trois critères pour l'APD : elle provient du secteur officiel ; elle a principalement pour objectif de promouvoir le développement économique et le bien-être social ; et elle est assortie de conditions concessionnelles, les prêts comportant un élément de don d'au moins 25 % (calculé sur la base d'un taux d'actualisation de 10 %).

L'aide publique au développement se compose de dons et de prêts, nets des remboursements, qui satisfont à la définition de l'APD du CAD et qui sont destinés à des pays ou à des territoires figurant sur la liste des bénéficiaires de l'aide du CAD. La nouvelle liste des bénéficiaires du CAD a été établie sur la base de critères plus objectifs, fondés sur les besoins, que les listes précédentes et elle comprend l'intégralité des pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, à l'exception des pays membres du G-8 ou de l'Union européenne (y compris les pays dont la date d'adhésion à l'UE a été fixée). (CAD de l'OCDE).

La **dette extérieure totale** est la dette due à des non-résidents, remboursable en monnaie étrangère, en biens ou en services. Elle est la somme de la dette publique, de la dette à garantie publique et de la dette privée non garantie à long terme, du recours au crédit du FMI et de la dette à court terme. La dette à court terme englobe toutes les obligations ayant une échéance initiale ne dépassant pas un an ainsi que les intérêts en arriérés dus au titre de la dette à long terme. (Banque mondiale)

La **valeur actuelle de la dette extérieure** est égale à la somme de la dette extérieure à court terme et de la valeur actualisée de la somme de tous les paiements au titre du service de la dette à long terme publique, à garantie publique et privée non garantie sur la période totale couverte par les prêts en cours. (Les données sur la dette extérieure proviennent essentiellement de rapports soumis à la Banque mondiale dans le cadre de son Système de notification de la dette

par les pays membres qui ont reçu un prêt de la Banque internationale pour la reconstruction et le développement (BIRD) ou un crédit de l'Association internationale de développement (IDA) ; elles sont complétées par des informations supplémentaires tirées des dossiers de la Banque mondiale, du FMI, de la Banque africaine de développement et du Fonds africain de développement, de la Banque asiatique de développement et du Fonds asiatique de développement, et de la Banque interaméricaine de développement. Les tableaux récapitulatifs de la dette extérieure des pays en développement sont publiés chaque année dans le rapport de la Banque mondiale intitulé *Global Development Finance*.)

Le **crédit intérieur accordé par le secteur bancaire** recouvre tous les crédits aux différents secteurs, enregistrés sur une base brute, à l'exception des concours à l'administration centrale, qui sont enregistrés sur une base nette. Le secteur bancaire comprend les autorités monétaires, les banques de dépôts et autres institutions bancaires pour lesquels des données sont disponibles (y compris les institutions qui n'acceptent pas de dépôts transférables mais contractent des engagements sous forme de dépôts à terme et d'épargne). Au nombre de ces autres institutions bancaires figurent les caisses d'épargne et de crédit et les caisses d'épargne logement. (Les données sont tirées du rapport du FMI intitulé *International Finance Statistics*.)

Les **migrations nettes** indiquent le nombre total de migrants durant la période. Ce chiffre est égal au nombre total des immigrants moins le nombre total des émigrants, qu'il s'agisse de citoyens ou non. Les données sont des estimations sur cinq ans. (Les données sont tirées de la publication de la Division de la population des Nations Unies intitulée *World Population Prospects: The 2008 Revision*.)

Tableau 6. Indicateurs de base pour les autres économies

Se reporter aux notes techniques du tableau 1. Principaux indicateurs de développement.

Méthodes statistiques

La présente section décrit les méthodes de calcul du taux de croissance par la méthode des moindres carrés, par la méthode du taux de croissance exponentiel (points extrêmes), ainsi que par la méthode suivie dans l'Atlas de la Banque mondiale pour calculer le facteur de conversion employé pour estimer les valeurs du RNB et de celles du RNB par habitant en dollars.

Taux de croissance calculé par la méthode des moindres carrés

On calcule les taux de croissance par la méthode des moindres carrés chaque fois que l'on a des séries chronologiques suffisamment longues pour que les calculs soient fiables. On ne calcule pas ce type de taux lorsque l'on ne dispose que de moins de la moitié des observations pour la période.

On estime le taux de croissance, r , en déterminant l'équation d'une droite de régression par la méthode des moindres carrés à partir des valeurs logarithmiques de la variable pour chacune des années de la période considérée. Cette équation de régression revêt la forme suivante :

$$\ln X_t = a + bt,$$

qui est la transformée logarithmique de l'équation du taux de croissance géométrique :

$$X_t = X_0 (1 + r)^t.$$

Dans ces équations, X est la variable, t est la période, $a = \text{Log } X_0$ et $b = \text{Log } (1 + r)$ sont les paramètres que l'on cherche à estimer. Si b^* est l'estimation de b produite par la méthode des moindres carrés, il suffit, pour obtenir le pourcentage moyen de croissance annuelle, r , de calculer $[\exp(b^*) - 1]$, puis de multiplier le résultat par 100.

Le taux de croissance ainsi calculé est un taux moyen représentatif des observations disponibles sur la période considérée. Il n'est pas nécessairement égal au taux de croissance effectif entre deux périodes données.

Taux de croissance calculé à partir du modèle exponentiel

Dans le cas de certaines statistiques démographiques, couvrant notamment la population active et la population totale, le taux de croissance entre deux dates différentes est calculé au moyen de l'équation suivante :

$$r = \ln (p_n/p_1)/n,$$

dans laquelle p_n et p_1 sont respectivement la dernière et la première observation de la période, n le nombre d'années de la période, et Log l'opérateur du logarithme népérien. Ce taux de croissance est basé sur un modèle de croissance exponentiel continue entre deux dates. Il ne prend pas en compte les valeurs intermédiaires de la série. Il convient ici de noter que le taux de croissance calculé à partir du modèle exponentiel ne correspond pas au taux de croissance annuel mesuré à des intervalles d'un an, qui est donné par la formule $(p_n - p_{n-1})/p_{n-1}$.

Méthode de l'Atlas de la Banque mondiale

Pour calculer le RNB et le RNB par habitant en dollars des États-Unis pour certaines opérations, la Banque mondiale utilise le facteur de conversion de l'Atlas. L'emploi de ce facteur a pour objet de réduire l'impact des fluctuations de taux de change sur les comparaisons des revenus nationaux des différents pays. Le facteur de conversion de l'Atlas pour une année quelconque est la moyenne du taux de change d'un pays (ou du facteur de conversion retenu) pour l'année en cause et des taux de change des deux années précédentes, après ajustement au titre de l'écart d'inflation entre le pays concerné et le Japon, le Royaume-Uni, les États-Unis et la zone Euro. Le taux d'inflation d'un pays est mesuré par son déflateur du RNI. Le taux d'inflation d'un pays est représenté

par la variation du déflateur de son PIB. Le taux d'inflation du Japon, du Royaume-Uni, des États-Unis et la zone Euro, qui représente le taux d'inflation international, est mesuré par la variation du déflateur du Droit de tirage spécial (DTS). (Le DTS est l'unité de compte du FMI.) Le déflateur du DTS est la moyenne pondérée des déflateurs du PIB de ces économies exprimés en DTS. Les pondérations sont déterminées par le montant de chaque monnaie entrant dans la composition d'un DTS. Elles varient dans le temps parce que la composition monétaire du DTS et les taux de change relatifs de chaque monnaie se modifient. Le déflateur du DTS est calculé à partir de données en DTS, puis converti en dollars des États-Unis au moyen d'un facteur de conversion de l'Atlas du DTS en dollar. Le RNB d'une économie est alors multiplié par le facteur de conversion de l'Atlas. Le RNB en dollars produit par cette opération est divisé par la population en milieu d'année de manière à produire le RNB par habitant.

Lorsque les taux de change officiels sont jugés peu fiables ou non représentatifs des taux de change effectifs pour la période considérée, la formule de l'Atlas fait intervenir une autre estimation du taux de change (voir ci-dessous).

Les formules ci-après décrivent le mode de calcul du facteur de conversion pour l'année t :

$$e_t^* = \frac{1}{3} \left[e_{t-2} \left(\frac{p_t}{p_{t-2}} / \frac{p_t^{SS}}{p_{t-2}^{SS}} \right) + e_{t-1} \left(\frac{p_t}{p_{t-1}} / \frac{p_t^{SS}}{p_{t-1}^{SS}} \right) + e_t \right]$$

Et celui du RNB par habitant en dollars pour l'année t :

$$Y_t^S = (Y_t/N_t)/e_t^*$$

où e_t^* est le facteur de conversion de l'Atlas (unités de monnaie nationale par rapport au dollar) pour l'année t , e_t est le taux de change annuel moyen (de la monnaie nationale par rapport au dollar) pour l'année t , p_t est le déflateur du RNB pour l'année t , p_t^{SS} est le déflateur du DTS en dollars pour l'année t , Y_t^S est le RNI calculé par la méthode de l'Atlas en dollars pour l'année t , Y_t est le RNB courant (en monnaie nationale) pour l'année t , et N_t est la population au milieu de l'année t .

Autres facteurs de conversion

La Banque mondiale vérifie systématiquement si les taux de change officiels sont des facteurs de conversion adéquats. Elle utilise un autre facteur de conversion, lorsque l'écart entre le taux de change officiel et le taux effectivement employé dans le cadre des transactions intérieures faisant intervenir des devises ou des échanges internationaux de marchandises, est jugé exceptionnellement important. Ce n'est le cas que pour un petit nombre d'économies comme le montrent le tableau donnant le profil des données primaires de World Development Indicators 2009. Des facteurs de conversion autres que le taux de change sont utilisés dans le cadre de la méthode de l'Atlas et, dans certains cas, dans les Grands indicateurs du développement pour une année déterminée.

Index

A

- Acceptation des réformes 340
- Accord
 - entraînement par le marché 299
 - sur les technologies de l'information 254
 - TRIPS 311
- Accords environnementaux multilatéraux (AEM) 251
- Accumulation par pompage 220
- Action
 - changement climatique 321, 326
 - collective 164
 - incitations 334
- Actions déterministes 57
- Adaptation 291
 - capacité d'adaptation et vulnérabilité 281
 - CCNUCC 248
 - coût et financement 263
 - de la technologie 291
 - financement
 - alignement 265
 - appropriation 265
 - extension du financement 277
 - financement privé 277
 - formules d'allocation des fonds 278
 - fragmentation 265
 - harmonisation 265
 - résultats 265
 - fonds du Protocole de Kyoto 263
 - innover 293
 - nouvelles sources de financement 258, 259
 - politique climatique 341
 - solutions de marchés 273
 - stratégies à long terme 92, 273
 - synergies entre atténuation et adaptation 97
 - taxation du mécanisme pour un développement propre (MDP) 279
 - vulnérabilité de l'Afrique subsaharienne 279
- Adaptation écosystémique 130
- Affections
 - cardiorespiratoires 78
 - diarrhéiques 44, 71, 78
- Afrique
 - aquaculture 160
 - barrages 145
 - chute des rendements agricoles due au changement climatique 148
 - émissions dues aux incendies 148
 - hydroélectricité 48
 - inondations 101
 - maladies 97, 99
 - pénuries d'eau résultant du changement climatique 78
 - prévisions météorologiques 165
 - production de biocarburants 149
 - programmes de préservation de la faune sauvage 128
 - sécheresse 108
 - zones protégées bénéfiques à la biodiversité 155
- Afrique du Nord, énergie solaire 222
- Afrique du Sud
 - droits négociables sur l'eau 143
 - législation du rachat d'énergie 221
 - loir sur l'eau 143
 - stratégies d'atténuation 240
 - zones protégées 155
- Afrique subsaharienne
 - aquaculture 161
 - conséquences du changement climatique 279
 - prix alimentaires 171
 - utilisation d'engrais 159
- Agrégateurs, rôle des 173
- Agriculture 135, 147
 - accélération de la productivité 147
 - assurance des cultures 92, 105
 - atténuation du changement climatique, effet de l' 148
 - autonomisation des femmes 45
 - baisse de productivité due au changement climatique 42, 77
 - CGIAR 308
 - chute des rendements agricoles due au changement climatique 135, 148
 - commerce des denrées agricoles 162
 - conversion des écosystèmes pour l' 152
 - cultures biotechnologiques 158
 - de conservation 157
 - écoagriculture 155
 - innovations technologiques 153, 156, 169

- labour minimum, méthodes de 157, 173
 - le monde en 2050 et au-delà 90
 - modification génétique des cultures 157
 - piégeage du carbone et 171
 - R-D 294
 - résistante au climat 153
 - subventions agricoles 136, 174
 - variétés culturales et diversification 154, 157
 - zones mortes, prolifération de 152
 - Aides de l'État 312
 - Alertes
 - systèmes d'alerte avancée 92, 94, 98, 102
 - systèmes d'alerte canicule et santé 99
 - Alexandrie, risques d'inondation et exposition aux tempêtes 95
 - Allemagne
 - législation du rachat d'énergie 220
 - loi sur les énergies renouvelables 220
 - Amazonie 90
 - forêt tropicale 80
 - Amérique du Nord
 - production de biocarburants 149
 - rendements agricoles 151
 - zones protégées pour la biodiversité 156
 - Amérique latine
 - aquaculture 161
 - émissions dues aux incendies 148
 - innovations agricoles 154
 - prix alimentaires 171
 - production de biocarburants 149
 - transports publics 209
 - Amérique latine et Caraïbes
 - Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility 106
 - système d'assurance mutuelle 104
 - Analyse coûts-avantages, services de prévisions météorologiques 164
 - Années de vie en bonne santé, perte d' 43
 - Ansari 300
 - Antarctique, calotte glaciaire 71, 80
 - Antiquité et changements environnementaux 39
 - Appauvrissement de la couche d'ozone 208
 - Apprentissage social 109
 - Approches intégrées
 - actions des pays en développement dans une structure mondiale 245
 - Appropriation et conditionnalité 240
 - Aquaculture 160
 - Argentine
 - embargo sur les exportations 49
 - privatisation de la distribution de l'eau 100
 - restrictions des exportations 163
 - Asie
 - aquaculture 160, 161
 - chute des rendements agricoles due au changement climatique 148
 - émissions dues aux incendies 148
 - innovations agricoles 154
 - pénuries d'eau résultant du changement climatique 78
 - prix alimentaires 171
 - production céréalière 153
 - production de biocarburants 149
 - utilisation de la voiture 194
 - Asie-Pacifique, aquaculture 160
 - Association internationale de développement (AID) 278
 - Assouan, Haut barrage (Égypte) 145
 - Assurabilité du risque climatique 105
 - Assurance 92, 104
 - bétail 105
 - climatique 104, 331
 - Atténuation
 - actions immédiates 203
 - à plusieurs vitesses
 - piste par objectif 242
 - coûts 197, 257, 261
 - avantages des énergies propres 190
 - barrières 212
 - effet de rebond 212
 - initiaux 213
 - émissions 289
 - équité des approches à plusieurs vitesses 242
 - financement 240
 - mécanisme de financement 263
 - multi-pistes
 - piste politique 242
 - politiques 189
 - registre 243
 - stratégies à long terme 92
 - synergies entre atténuation et adaptation 97
 - Australie
 - droits négociables sur l'eau 143
 - tarification de l'eau 143
 - Autochtones, peuples et savoirs 108, 130, 139
 - Automobile
 - préférences des consommateurs 213
 - taux de propriété et utilisation 194
 - véhicules hybrides et électriques 209, 212
 - Autonomisation
 - des communautés pour se protéger elles-mêmes 108
 - des femmes 45
- B**
- Bali, Plan d'action de (CCNUCC), coût d'une atténuation retardée 58
 - Bangladesh
 - inondations 303
 - systèmes d'alerte avancée 108, 165

- Banque mondiale
 - coûts de l'adaptation et finances nécessaires 260
 - évaluation de la politique et des institutions nationales 278
 - Fonds
 - biocarbone 128
 - de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) 275
 - d'investissement climatique pour la forêt 276
 - Banques d'habitat 127
 - Barèmes carbone 307
 - Barrages 94, 130, 145
 - Bases scientifiques du changement climatique 71
 - Bassins fluviaux 135, 142
 - Bâtiments publics et rendement énergétique 62
 - Battelle Memorial (institut) 242
 - Biens respectueux du climat 254
 - Biocapteurs 99
 - Biocarburants
 - à base de maïs 48
 - Brésil, leader mondial 254
 - de deuxième génération 149, 208
 - production de 149, 163, 170
 - Biochar 158
 - Biodiesel 149
 - Biodiversité
 - conservation communautaire 128
 - Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction 251
 - effet de l'étiquetage du carbone sur 253
 - impact du changement climatique sur la 77
 - marine 128
 - modèles économiques et 52
 - participation des femmes et 45
 - planification et gestion de la 127, 136
 - protection et entretien de la 126
 - réserves de conservation 127
 - zones protégées 155
 - Biomasse 148, 189, 206
 - pour les fourneaux 312
 - Biotechnologiques, cultures 158
 - Bœuf, production de viande 148, 150, 151
 - Bolivie, protection des écosystèmes 128
 - Bosse migratoire 112
 - Boston, stratégie pour le changement climatique de 92
 - Brésil
 - biocarburants 254
 - Bolsa Escola-Bolsa Família 63
 - culture de l'huile de palme 150
 - culture sans travail du sol 158
 - innovations et technologies 224
 - inondations 101
 - législation sur l'efficacité énergétique 214
 - ouragans 101
 - pauvreté 44
 - peuples autochtones et gestion des forêts 109
 - prévisions météorologiques 165
 - Protocole de Kyoto 238
 - revenus du MDP 267
 - sécheresse 46
 - Brevets 292, 293
 - Budget carbone 238
 - Bulgarie, efficacité énergétique 217
 - Bureaucratie
 - coordination 333
 - regroupement 333
- ## C
- C40 Groupe des grandes villes pour le climat 210
 - Café, production 154
 - Caire, planification urbaine 94
 - Californie, gestion des ressources hydriques 142
 - Canada
 - gestion de la biodiversité au 127
 - industrie forestière 42
 - Canicules
 - augmentation des 71
 - conséquence du changement climatique 71, 75
 - systèmes d'alerte canicule et santé 99
 - Cannelle 154
 - Capacités
 - gouvernements 332
 - Capacité sociale
 - et vulnérabilité 280
 - Capital-risque 302
 - Caraïbes, glissements de terrain 328
 - Carbone
 - barème de prix 307
 - crédits 173, 262
 - cycle 72
 - du sol 137, 173
 - émissions de carbone noir 189
 - étiquetage 253
 - fuites 251
 - mécanisme de plafonnement et d'échange 207
 - piégeage et séquestration 275
 - piégeage et stockage du carbone (PSC) 54, 199, 209
 - en Inde 199, 202
 - piéger et stocker 289, 300
 - prix et marchés 136, 171, 172, 273
 - puits 72, 78
 - Taxation du carbone virtuel 252
 - taxe carbone 189
 - dans les pays développés 214
 - Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility 106
 - Cartographie numérique 166

- Casablanca, risques d'inondation 95
- Catastrophes
 - programmes de gestion des risques 45, 101
 - risques 54, 91
- Catastrophes naturelles
 - vulnérabilité aux 42, 101
- CCNUCC
 - Fonds pour l'adaptation 247
 - gestion de l'adaptation 248
- Céréales
 - commerce 162
 - prix 163, 170
 - rendement 148
- CGIAR 308
- Changement climatique 321
 - agir 321, 326
 - assurances 331
 - avantages des politiques 338
 - bases scientifiques du 71
 - chocs climatiques 42
 - communication 327, 328
 - comprendre 324
 - coopération 307
 - dangers 50, 72, 75
 - démocratie 336
 - déni 327
 - effet sur le développement 39
 - enseignement 329
 - et commerce 255
 - et sanctions pour raisons climatiques 251
 - financer 293
 - informations 322, 326
 - juridictions infranationales 337
 - médiatisation 324
 - mesures institutionnelles 329
 - normes sociales 330
 - obstacles 321
 - politique 327
 - politique publique 336
 - préoccupation 322
 - recherche 291
 - rôle de l'État 331
- Changement d'affectation des terres 58
 - et changement climatique 74
- Charbon, consommation 54, 75
- Chicago Climate Exchange 173
- Chili, droits négociables sur l'eau 143
- Chine
 - aquaculture 160
 - baisse des récoltes due au changement climatique 43
 - budget carbone 238
 - carbone, technologie de piégeage et de stockage 54
 - écotaxes 50
 - efficacité énergétique 201
 - énergie éolienne 254
 - éolien 220
 - gestion et suivi des ressources hydriques 168
 - information sur les inondations 103
 - innovations et technologies 224
 - interruption des transports due à la tempête de janvier 2008 48
 - législation sur l'efficacité énergétique 214
 - migration 112
 - plans de relance et dépense verte 62
 - réduction des émissions nécessaires 238
 - réforme institutionnelle 334
 - revenus du MDP 267
 - systèmes de prévisions météorologiques 164
- Chocs climatiques 110
- Choix normatifs en matière d'agrégation et de valeurs 55
- Cités
 - consommation énergétique 193
 - de l'innovation, République de Corée 94
 - développement urbain 193
- Climat
 - droits au développement dans un monde sous contrainte carbone 238
 - équité
 - et environnement 236
 - extension du financement de l'adaptation 277
 - fragmentation du financement 265
 - gestion du risque indexée sur le 107
 - modèles climatiques 201, 202
 - politiques de développement intelligentes 208
 - régime climatique et croissance économique 240
 - régime climatique international 248
 - traité international 289
 - vulnérabilité
 - Afrique subsaharienne 279
 - et capacité d'adaptation 281
 - et capacité sociale 280
- Coalition des pays à forêt ombrophile 276
- Codes de construction, renforcement 277
- Colombie
 - migration 114
 - plans de relance et dépense verte 62
 - utilisation intégrée des terres 155
- Combustibles fossiles 148, 198
- Commerce
 - et changement climatique 255
 - sanctions pour raisons climatiques 251
- Communication
 - changement climatique 327, 328
 - politique climatique 341
- Communiqué de Doha 250
 - articles controversés 254

- Comportement humain, modification 322
 - Compréhension du changement climatique 324
 - Compteurs et réseaux intelligents 207
 - Concentration de dioxyde de carbone (CO₂) due à la combustion de biomasse 148
 - Conditionnalité et appropriation 240
 - Conférence sur les changements climatiques (ONU) 246
 - Conflits et migration 113
 - Connaissances
 - coordonner 295
 - rôle des ingénieurs 305
 - Conseil
 - services de 137
 - Consensus 340
 - Conservation
 - agriculture de 157
 - communautaire 128
 - Conservation Reserve Program (ministère de l'Agriculture américain) 173
 - Consommateurs, sensibilisation et éducation 215
 - Consommation, tarification 322
 - Construction Services climatiques mondiaux 297
 - Contrôle des émissions 325
 - Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
 - contenu 234
 - Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) 161, 174, 233
 - Article 2 71
 - contenu 250
 - coûts de l'adaptation et finances nécessaires 260
 - et Protocole de Kyoto 250
 - indemnisation des pays développés 58
 - responsabilités communes mais différenciées 58
 - Convention de Bâle 251
 - Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires 241
 - Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction 251
 - Coopération 294
 - changement climatique 307
 - entre les pays 289
 - Coopération internationale 161
 - pêches 161
 - Coordination des connaissances 295
 - Cordillère blanche (Pérou) et gestion de l'eau 139
 - Corée
 - cités de l'innovation 94
 - plans de relance et dépense verte 62
 - Société de gestion de l'énergie 217
 - Costa Rica, politiques agricoles préservant la biodiversité 156
 - Côte d'Ivoire, régimes de précipitations et éducation 46
 - Couche d'ozone
 - appauvrissement 208
 - Couche d'ozone, appauvrissement 236
 - Coûts-avantages, analyse 50
 - cadres alternatifs 57
 - taux d'actualisation 52, 56
 - Coûts de l'atténuation 197
 - Crédit d'impôt fédéral aux États-Unis 220
 - Crédits carbone 173, 262
 - Crise et innovation 292
 - Crise financière
 - et conséquences sur les politiques climatiques 188
 - plans de relance intégrant des initiatives vertes 59
 - Croissance démographique 42, 93
 - Croissance économique 39
 - cadres alternatifs 39
 - choix normatifs 55
 - dépense verte et 62
 - développement durable 41
 - écotaxes et 50
 - et régime climatique 240
 - évaluation des compromis 50
 - inertie et 55
 - pertes dues aux catastrophes naturelles 101
 - prise en compte des incertitudes 54
 - Cuba, évacuation due aux ouragans 94
 - Curitiba, BrésilBrésil
 - planification urbaine et infrastructures, planification et infrastructures urbaines à 95
 - Cycle hydrologique 139
 - Cyclones, intensité des 75
- D**
- Danemark
 - croissance économique et réduction des émissions 219
 - énergie éolienne 219
 - Déboisement
 - changement climatique et 72, 74
 - Déchets, gestion dans les zones urbaines 95
 - Déclaration
 - des peuples autochtones sur le changement climatique 130
 - Déclaration de Paris 265
 - Déflexion solaire, disque 290
 - Déforestation
 - au Japon 55
 - et dégradation des forêts (REDD) 274
 - réduction de la 72
 - Démocratie et changement climatique 336
 - Dendroctone du pin 42
 - Dengue 43
 - Déni du changement climatique 327

- Département du développement des énergies alternatives et de l'efficacité énergétique 217
 - Dépense verte 62
 - Dessalement 146
 - Développement durable 171
 - Diagnostic, instruments 100
 - Diarrhéliques, affections 97
 - Diffusion
 - innovations 287
 - technologies 288
 - Dioxyde de carbone (CO₂), concentration de 74
 - Disque de déflexion solaire 290
 - Diversification des cultures 153
 - Documentation
 - NAPA 333
 - Doha, Programme pour le développement (OMC) 164
 - DPI, droits de propriété intellectuelle 311
 - Droit de la Mer 128
 - Droits
 - à la nourriture 56
 - à l'eau 56
 - au développement dans un monde sous contrainte carbone 238
 - à un abri 56
 - de développement négociables 156
 - de l'homme 55
 - de propriété 137
 - sur l'eau 144
 - Durable, développement 171
 - Durables, pratiques agricoles 174
- E**
- Eau
 - de boisson 139
 - de pluie, récolte 146
 - en gros 143
 - refroidir 290
 - Eaux souterraines 144, 166
 - EChoupals (Inde) 167
 - Écosystèmes
 - adaptation écosystémique 93, 130
 - croissance démographique et 42
 - cycle du carbone et 72
 - écosystèmes marins 159
 - garde-fous 57
 - marins 80, 128
 - modèles économiques et 52
 - réactions incertaines des 138
 - résistance des 77
 - services 124
 - paiements pour les 129
 - utilisation agricole des 152
 - Écotaxes 50
 - Éducation
 - chocs climatiques et 46
 - et sensibilisation des consommateurs 215
 - Effet de rebond 212
 - Effet de serre naturel 73
 - Efficacité énergétique 188, 199, 208, 219
 - Bulgarie 217
 - Californie 216
 - coûts initiaux 213
 - dans les pays développés 201
 - dans les pays en développement 202
 - dysfonctionnements et barrières liés ou non au marché 212
 - économies financières 214
 - éducation des consommateurs 219
 - éducation et sensibilisation des consommateurs 215
 - entreprises de services énergétiques (SSE) 217
 - financement 217
 - incitations financières 214
 - législation 214
 - marchés publics 219
 - mécanismes de financement 217
 - pays en développement 211
 - quotas 214
 - réformes institutionnelles 217
 - réglementations 208
 - Effluents, gestion des
 - aquaculture et 161
 - dans les zones urbaines 145
 - Égypte
 - accès aux marchés alimentaires 164
 - antiquité et changements environnementaux 39
 - Haut barrage d'Assouan 145
 - planification urbaine autour du Caire 94
 - ressources en eau 141, 145
 - El Niño-oscillation australe (ENSO) 82, 165
 - Émissions
 - atténuer 289
 - juguler 325
 - réduction dans un régime climatique à plusieurs vitesses 242
 - réduire 289
 - Émissions de gaz à effet de serre
 - carbone noir 189
 - crédits carbone 262
 - dans les villes 210
 - Protocole de Kyoto 210
 - dans l'industrie 211
 - décès prématurés 214
 - le pire scénario 198
 - mécanisme de plafonnement et d'échange 207
 - négatives 195

- objectifs de 450 ppm 203
- par secteur 192
- réduction dans les pays à revenus élevés 189
- réduction grâce aux énergies renouvelables 207
- sources 193
- système d'échange de quotas de l'Union européenne 274
- système de plafonnement et d'échange 269
- Émissions industrielles 251
- émissions négatives 83
- Emplois, création 103
 - grâce aux énergies renouvelables 190
 - programmes d'allocation conditionnelles 111
- Empreinte carbone 46
- Énergie
 - comparaison des coûts des technologies énergétiques 218
 - compteurs et réseaux intelligents 207
 - consommation (1850-2006) 192
 - dans les zones urbaines 97
 - efficacité énergétique 188, 199, 208, 219
 - Bulgarie 217
 - Californie 216
 - coûts d'atténuation initiaux 213
 - dysfonctionnements et barrières liés ou non au marché 212
 - économies financières 214
 - éducation des consommateurs 219
 - éducation et sensibilisation des consommateurs 215
 - financement 217
 - incitations financières 214
 - législation 214
 - marchés publics 219
 - mécanismes de financement 217
 - pays en développement 211
 - quotas 214
 - réformes institutionnelles 217
 - éolienne 220
 - Chine 220
 - Danemark 219
 - gaz naturel 223
 - géothermique 220
 - gestion de l'adaptation 187
 - hydraulique 220
 - nucléaire 205, 223
 - rachat d'électricité 220
 - renouvelables
 - biomasse 206
 - Chine 220
 - création d'emplois 190
 - géothermie 207
 - hydroélectricité 206
 - incitations financières 223
 - normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable 221
 - réduction des émissions 207
 - solaire 206
 - subventions 208
 - solaire 220
 - Afrique du Nord 222
 - concentrée 206
 - Moyen-Orient 222
 - Plan solaire méditerranéen 222
 - subventions 214
 - tarification 212
 - Énergies fossiles 71, 83
 - Énergie solaire en Inde 254
 - Engagement de marché
 - le super-réfrigérateur 301
 - Engrais 137, 148, 149, 158, 170
 - Enseignement
 - changement climatique 329
 - information sanitaire 101
 - technologie 305
 - Entraînement par le marché 299, 301
 - Entreprises de services énergétiques (SSE) 217
 - Environnement et équité 257
 - Éolien 220
 - Danemark 219
 - en Chine 254
 - Éolienne, parc 287
 - Equilibrium Fund 45
 - Équité
 - des approches à plusieurs vitesses 242
 - et environnement 236, 257
 - intergénérationnelle 56
 - Espagne
 - canicules, préparation aux 98
 - législation du rachat d'énergie 221
 - Espèces, conservation et extinction des 124
 - Étapes d'innovation 295
 - État
 - aides 312
 - changement climatique 331
 - rôle dans la technologie 314
 - rôle sur le marché 331
 - États-Unis
 - crédit d'impôt fédéral 220
 - dépense verte dans le plan de relance 61
 - droits négociables sur l'eau 143
 - efficacité énergétique 201
 - Californie 216
 - production de biocarburants aux 48
 - réduction des émissions nécessaires 238
 - taxation des carburants comparés à l'Union européenne 212
 - Éthiopie
 - Productive Safety Net 111

réduction des précipitations 46
 Éthique 56, 157
 Étiquetage du carbone 253
 Europe
 canicule (2007) 189
 production de biocarburants 48, 149
 régime sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance 241
 utilisation de la voiture 194
 zones protégées 155
 zones protégées pour la biodiversité 156
 Évacuation, plans 92, 94
 Évaluation de la politique et des institutions nationales 278
 Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire 124
 Évaluation internationale des sciences agronomiques et technologiques en faveur du développement (EICASTD) 156, 170

F

Famine, impact du changement climatique 171
 Farm Inputs Promotion Programme (Kenya) 159
 FCP 303
 Fédéralisme vert 337
 Fenêtres de tolérance, approche des 51
 Feux de forêts
 augmentation des 72
 Filets de sécurité pour les plus vulnérables 110
 Financement
 adaptation
 coûts 257, 261
 déficit de financement 263
 fonds privés 277
 fragmentation 265
 nouvelles sources 258, 259
 privé 277
 atténuation, fonds privés et fonds publics 282
 besoins pour la vulnérabilité 279
 changement climatique 293
 cohérence des politiques 270
 conditionnel 108
 du régime climatique international 247
 finances publiques 245
 mécanismes de marché 246
 efficacité énergétique 217
 et conditionnalité 240
 fonds de réserve pour les catastrophes naturelles 106
 formules d'allocation des fonds 278
 impacts sur la répartition des revenus 270
 innovation 299
 mécanismes 303
 neutralité budgétaire 268
 privé et public 261
 public 312

simplicité et coût administratifs 270
 technologie 303
 vulnérabilité 279
 Fleuves 135, 142
 Fonds
 biocarbone (Banque mondiale) 128
 commun des Nations Unies pour les produits de base 154
 d'adaptation 258
 d'adaptation du Protocole de Kyoto 110
 d'aide aux pays vulnérables 61
 de garantie d'efficacité énergétique (Hongrie) 217
 de partenariat pour le carbone forestier 275
 de réserve pour les catastrophes naturelles 106
 pour l'environnement mondial (FEM) 222
 pour l'environnement mondial (FEM) 217
 pour les technologies propres 222
 renouvelables 218
 technologique mondial 224
 Fonds Carbone de Partenariat 303
 Fonds pour l'adaptation 233
 Fonds pour l'adaptation (CCNUCC) 247
 Fonds pour l'environnement mondial
 adaptation 247
 Fonds pour l'environnement mondial (FEM) 233
 Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) 303
 Forestière, industrie 42
 Forêts
 émissions de gaz à effet de serre dues aux 148
 et utilisation de l'eau 143
 gestion du patrimoine forestier 109
 tropicales 80, 90
 Fossiles, combustibles 148
 Fourneaux
 à biomasse 312
 France
 canicule européenne (2007) 189
 efficacité énergétique, quotas 214
 Fuites de carbone 251

G

Garde-fous et objectifs d'atténuation 57
 Gaz à effet de serre
 avantages passés 56
 effet de serre naturel 73
 rétenteurs de chaleur 74
 Gaz, lavage 290
 Gaz naturel 208, 223
 Génomique 100
 GEO 297
 Géographique, information 102, 103
 Géo-ingénierie 290, 291
 déflexion solaire 290

- lavage de l'atmosphère 290
 - piéger le carbone 290
 - pulvérisation d'eau de mer 290
 - réflectivité 290
 - réflexion des rayons solaires 290
 - refroidissement de l'eau 290
 - Georgetown (Guyana), inondations 96
 - GEOSS 297
 - Géothermie 207, 220
 - Gestion adaptative 138
 - adaptation écosystémique 93, 130
 - le monde en 2050 et au-delà 90
 - résistance des communautés et 108
 - synergies entre atténuation et adaptation 97
 - Gestion de l'adaptation énergétique 187
 - Gestion des ressources naturelles 136
 - Gestion du risque
 - évaluation du risque 102
 - partage du risque 104
 - programmes de gestion des risques de catastrophes 101
 - risque urbain 97
 - Gestion évolutive 91, 159
 - caractéristiques d'une 92
 - Ghana, maladies 97
 - Glaciers
 - disparition 40, 92, 96, 139
 - fonte 80
 - Glissement de terrain aux Caraïbes 328
 - Gouvernements
 - capacités 332
 - incitations à agir 334
 - locaux 334
 - organisation 332
 - récompenses 336
 - Grenade, cyclone Ivan à la 106
 - Groenland
 - calotte glaciaire 71, 75, 180
 - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 71, 155
 - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) 198, 237
 - coût de réduction des émissions 258
 - faible gouvernance 267
 - sur le réchauffement observé 78
 - vulnérabilité 279
 - Guatemala, autonomisation des femmes 45
- H**
- Harmonisation de la réglementation 295
 - Honduras
 - autonomisation des femmes 45
 - ouragan Mitch (1998) 44
 - Hong-Kong, utilisation de la voiture 194
 - Hongrie, fonds de garantie d'efficacité énergétique 217
 - Huile de palme 150
 - Hydro-électricité 220
 - Hydroélectricité 48, 189, 199, 206
 - Hyogo, Cadre d'action de (Nations Unies) 101
- I**
- Ignorance excusable 56
 - Ilo (Pérou), planification urbaine 94
 - Imagerie satellitaire 167
 - Incendies
 - émissions dues aux 148
 - Incertitudes 54, 91, 105
 - Incitations
 - à agir 334
 - pour les utilisateurs de ressources 175
 - technologie 308
 - vélos électriques 307
 - Inde
 - allocations conditionnelles 111
 - assurance climatique basée sur un indice 104
 - baisse des récoltes due au changement climatique 43
 - eChoupals 167
 - efficacité énergétique 202
 - embargo sur les exportations 49
 - énergie solaire photovoltaïque 254
 - gestion de leau 145, 167
 - inégalité et risque climatique 46
 - innovations et technologies 224
 - législation sur l'efficacité énergétique 214
 - National Rural Employment Guarantee Act 111
 - piégeage et stockage du carbone 199
 - prévisions météorologiques 165
 - réduction des émissions nécessaires 238
 - réforme institutionnelle 334
 - restrictions des exportations 163
 - revenus du MDP 267
 - Indian Tobacco Company (ITC) 167
 - Indonésie
 - culture de l'huile de palme 150
 - ministère des finances et questions climatiques 271
 - paiements de transfert espèces 111
 - prévisions météorologiques 165
 - Inertie
 - du système climatique 40, 52
 - institutionnelle 321
 - Information
 - enseignement de l'information sanitaire 101
 - sur la gestion de l'eau 164, 165
 - sur la gestion des ressources naturelles et la production alimentaire 136, 137, 138, 164
 - utilisation de l'information géographique 102, 103
 - Informations sur le changement climatique 322, 326

- Infrastructures
 - financement privé 277
 - gestion de l'agriculture et de l'alimentation 164, 171
- Ingénieurs 305
- Inland Empire Utilities Agency (Californie) 142
- Innovation
 - capital-risque 302
 - coopération entre les pays 289
 - coordination des connaissances 295
 - diffuser 287
 - effet de la crise 292
 - étapes 295
 - financement 299
 - législation 305
 - moyens de survie 302
 - partager les coûts 298
 - pour l'adaptation 293
 - prévisions 296
 - R&D 292
 - universités 306
 - vallée de la mort 301
- Innovations et nouvelles technologies
 - agriculture et 153, 156, 169
 - ressources hydriques et 144, 167
- Innovations et technologies 222
 - Brésil 224
 - changement de combustibles 208
 - Chine 224
 - Inde 224
 - technologies à faible intensité de carbone
 - technologies de pointe 208
- Inondations 303
 - annonce avancée 164
 - assurance contre les 105
 - au Brésil 101
 - augmentation des 71, 75
 - création d'emplois pour en réduire le risque 103
 - dans le Sud et le Sud-Est asiatiques 96
 - en Afrique 101
 - information et cartographie du risque 103
 - planification urbaine et 95, 103
- Institutions
 - inertie 321
- Institutions de microcrédit 105
- Instituto de Pesquisa Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) 95
- Instituts de recherche 306
- Insulaires, impact du changement climatique sur les petits États 80
- Intégration dans une structure mondiale 245
- Inuits, adaptation au changement climatique 108
- Investissement dans la technologie 310
- Irrigation, systèmes 137, 147, 152
- ITER 299
- Ivan, cyclone 106
- J**
- Japon
 - baisse des récoltes due au changement climatique 43
 - utilisation de la voiture 194
- Joint Global Change Research (institut) 242
- Juridictions infranationales 337
- K**
- Katrina, ouragan 48, 106
- Kazakhstan
 - effet du changement climatique 148
 - restrictions des exportations au 163
- Kenya
 - Farm Inputs Promotion Programme 159
 - financements carbone dans l'agriculture 174
 - législation du rachat d'énergie 221
- Kyoto, Protocole, fonds d'adaptation 110
- L**
- Législation
 - innovation 305
 - tarifs de rachat subventionnés 221
- Libéria, inondations 103
- loi sur l'eau (Afrique du Sud) 143
- Londres, stratégie pour le changement climatique 92
- M**
- Madagascar
 - écotaxes 50
 - forêts 156
- Makati (Philippines), gestion du risque de catastrophes 97
- Maladies
 - à transmission vectorielle 97
 - cardio-vasculaires 44
 - contagieuses 42
 - hydriques 100
 - infectieuses 97
- Malnutrition 97
- Mandat de Berlin 244
- Mangroves 48, 130, 161
- Marché, rôle de l'État 331
- Marins, écosystèmes 128, 159
- Maroc
 - gestion de l'eau au 144, 147, 166
 - importations céréalières au 162
 - irrigation du bassin d'Oum Errabia 137
- Mawati, gestion du risque indexée sur le climat 107
- Mécanisme de développement propre (MDP) 253
- Mécanisme de plafonnement et d'échange 340

- Mécanisme de suivi, de notification et de vérification (SNV) 276
- Mécanisme pour un développement propre (MDP) 233, 246, 248
- avantages connexes 266
 - basé sur l'activité 274
 - boisement et reboisement 274
 - faiblesses
 - gouvernance et fonctionnement 267
 - faiblesses 267
 - contribution au développement durable 266
 - couverture 267
 - incitations 267
 - intégrité environnementale 266
 - financement par les taxes 267
 - fonds potentiels et revenus du carbone 263
 - lacunes 258
 - modifications 274
 - paiements pour les services d'écosystèmes 129
 - projets de piégeage agricole du carbone du sol 171
 - taxe d'adaptation 279
- Mécanismes de financement 303
- Mécanismes de garantie de marché 300
- Médiatisation du changement climatique 324
- Méningite, épidémies 44
- Mercy Corps 103
- Mésopotamie, antiquité et changements environnementaux 39
- mesure, notification et vérification (MRV) 244
- mesures de couverture des risques 57
- Mesures institutionnelles 329
- Météorologie, prévisions 297
- Mexique
 - cuisinières à bois 50
 - développement urbain 212
 - peuples autochtones et gestion des forêts 109
 - production de café 154
 - Progres-Oportunidades 63
 - stratégies d'atténuation 240
 - zones protégées 155
- Microcrédit, institutions de 105
- Migration
 - bosse migratoire 112
 - d'espèces 124
 - en réponse au changement climatique 90, 113
 - implantation dans des zones exposées 114
 - réinstallation 114
 - urbaine 112
- MiniCAM, modèle climatique 201, 202
- Modèle climatique en image 201, 202
- Modèles climatiques 201, 202
- Modification génétique des cultures 157
- Mongolie, assurance bétail 105
- Montréal, protocole 298, 303
- Mortalité
 - canicule de 2003 en Europe 42, 43
 - décès prématurés dus aux émissions de gaz à effet de serre 214
- Mortalité infantile 42, 100
- Moussons 82
- Moyen-Orient, énergie solaire 222
- Moyens de survie 302
- MRV Plan d'action de Bali 245
- ## N
- NAPA 333
- Nations Unies, Hyogo, Cadre d'action 101
- Neutralité budgétaire 268
- Nicaragua
 - autonomisation des femmes au 45
- Niger, agriculture 109
- Nil 94
- Niveau des mers
 - élévation 42, 71, 78
- Noir de carbone 189
- Non-linéarités et effets économiques indirects 53
- Normes de construction, application des 108
- Normes pour le portefeuille de l'énergie renouvelable 221
- Normes sociales 330
- Nouvelle approche 298
- Noyer à pain 45
- Nucléaire 223
- Numérique, cartographie 166
- ## O
- Obstacles à l'action 321
- Océans
 - acidification des 78
 - fixation du carbone par les 72, 80
 - impact du changement climatique sur les 71
 - villes côtières menacées 94
- Organisation
 - gouvernements 332
 - internationale du café 154
 - maritime internationale 271
 - météorologique mondiale 165
 - mondiale de la santé 43
 - mondiale du commerce 164
- Organisation des Nations Unies (ONU)
 - Conférence sur les changements climatiques 246
 - initiative REDD 275
 - pour l'alimentation et l'agriculture 275
 - pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) 167
- Organisation mondiale du commerce (OMC) 241, 250, 254
- Organisations internationales 302
- Organisations non gouvernementales (ONG) 94

- Oscillation nord atlantique 82
- Ouganda, approvisionnement en masse 219
- Ouragan Mitch 156
- Ouragans 94, 101
- Ozone, appauvrissement de la couche d'ozone 236
- P**
- Paiements de transfert en espèces 111
- Pakistan
 - restrictions des exportations 163
- Pakistan, maladies 97
- Paludisme 43, 97
- Panels d'évaluation 298
- Parc d'éolienne 287
- Partage
 - des coûts 298
 - en matière de recherche 298
- Partage des charges et action opportuniste précoce 236, 238
- Partenariats public-privé pour le partage des risques climatiques 104, 107
- Partenariat sur le changement climatique (Londres) 92
- Participatives, conception et exécution 92
- Pauvreté
 - citadins pauvres 94
 - effet du changement climatique sur la 91, 108, 170
- Pays à faible revenu, empreinte carbone 46
- Pays à revenu élevé
 - aide aux pays en développement 40
 - empreinte carbone 46
 - relocalisations des industries énergivores 251
 - taux démissions 40, 41
- Pays à revenu intermédiaire
 - émissions dans les 58
 - empreinte carbone 46
 - évaluation du risque dans les 102
 - subventions énergétiques dans les 111
- Pays à revenus élevés, réduction des émissions 189
- Pays de Galles, préparation aux canicules 98
- Pays développés
 - efficacité énergétique 201
 - et pays en développement dans le Plan d'action de Bali 204
 - taxe carbone 214
- Pays en développement
 - accès à l'assurance dans les 105
 - agriculture dans les 148
 - coûts d'atténuation pour les 58
 - demande d'énergie des 54
 - efficacité énergétique 202, 211
 - équipements efficaces indisponibles 213
 - évaluation du risque dans les 102
 - gestion de la biodiversité dans les 128
 - gestion des écosystèmes marins dans les 159
 - hydroélectricité dans les 48
 - insécurité alimentaire dans les 110
 - mode de vie des classes moyennes dans les 46
 - plans de relance et dépense verte dans les 62
 - stock de capital 203
 - subventions énergétiques 50
 - taux démissions des 40, 41
- Pêches
 - aquaculture et 160
 - coopération internationale 161
 - demande de production alimentaire et 159
 - gestion des 109, 128
 - impact du changement climatique sur les 128
- Pérou, peuples autochtones et gestion de l'eau 139
- Petits pays, vulnérabilité des 106
- Pew Centre on Global Climate Change 242
- Philippines
 - gestion des écosystèmes marins aux 159
 - gestion du risque de catastrophes aux 97
 - prévisions météorologiques aux 165
- Piégeage
 - dioxyde de carbone 290
 - du carbone 289
- Piégeage du carbone 171, 174
- Piégeage et stockage du carbone 300
- Piégeage et stockage du carbone (PSC) 187, 199, 209
 - Inde 199, 202
 - par la biomasse 197
- Plan d'action de Bali
 - cadre de responsabilité 265
 - pays développés et pays en développement 204
- Plan d'action de Bali (CCNUCC) 233
 - contenu 234
 - MRV 245
 - pays développés et en développement 245
- Plans de relance et dépense verte 59
- Plan solaire méditerranéen 222
- Pluies acides 189, 208, 236
- Pluralisme
 - politique climatique 341
- Points de basculement 52, 80
- Pôles
 - impact du changement climatique aux 77
- Politique
 - avantages connexes 338
 - changement climatique 327
 - publique 336
- Politique agricole commune de l'Union européenne 175
- Politique climatique
 - adapter 341
 - au plan local 342
 - ciblage 339
 - communication 341

- consensus 340
 - donner l'exemple 340
 - État 331
 - obstacles à l'abandon 341
 - pluralisme 341
 - responsabilités 332
 - secteur privé 342
 - transparence 341
 - Politiques climatiques
 - atténuation 189
 - de développement intelligent 208
 - et crise financière 188
 - Politiques et mesures pour un développement durable (SD-PAMs) 243
 - Politiques intelligentes sur le plan climatique 90, 97
 - Pollinisation par les abeilles 156
 - Pollueur-payeur, principe 56
 - Pollution atmosphérique
 - conséquence du changement climatique 82
 - réduction 208
 - Pratiques agricoles durables 174
 - Précipitations
 - accroissement des 75, 81
 - augmentation des 148
 - Préoccupations
 - changement climatique 322
 - Préparation REDD 275
 - Prêts à démarrer, projets 62
 - Prévisions
 - innovation 296
 - météorologie 297
 - panels d'évaluation 298
 - réseau en étoile 297
 - Prix
 - filets de sécurité protégeant les pauvres des tarifs élevés de lénergie 111
 - hausse des prix de lénergie 170
 - Prix d'encouragement 300
 - Prix Nobel de la paix (2007) 63
 - Processus de décision
 - options souples et réversibles 91, 103
 - Productive Safety Net (Éthiopie) 111
 - Programme d'action d'Accra 265
 - Programme des Nations Unies pour l'environnement 275
 - Programmes d'action nationaux pour l'adaptation 233
 - Programmes d'actions nationaux (PANA) 243, 247
 - Programmes d'allocations conditionnelles 111
 - Projet en faveur des forêts ombrophiles 276
 - Protections contre les effets du changement climatique 104
 - Protection sociale 91, 106, 110
 - Protocole de Kyoto 190
 - contenu 234, 250
 - émissions de gaz à effet de serre dans les villes 210
 - et CCNUCC 250
 - fonds d'adaptation 263
 - fonds d'adaptation 258
 - Fonds pour l'adaptation 233, 247
 - fuites de carbone 251
 - proposition du Brésil 238
 - responsabilité des gouvernements 265
 - révisions 273
 - Protocole de Montréal 298, 303
 - Puits résiduels 72
 - Pulvérisation d'eau de mer 290
- ## R
- Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 141
 - Rayons solaires
 - réfléchir 290
 - R-D 292
 - agricole 294
 - RDD-D 288
 - Réacteur
 - ITER 299
 - Recettes, recyclage des 50
 - Réchauffement
 - contenu à 2 °C 71, 82
 - Recherche
 - changement climatique 291
 - instituts 306
 - partager les coûts 298
 - Recherche et développement
 - dans l'agriculture 156
 - gestion des ressources naturelles 137, 167
 - Récifs coralliens 78, 128, 159
 - Récompenses aux gouvernements locaux 336
 - Récupération du capital 218
 - Réduction de débit fluvial 143
 - Réduction des émissions 289, 323
 - Réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) 129, 150
 - Réfectivité des terres 290
 - Réforme institutionnelle
 - Chine 334
 - Inde 334
 - Réformes
 - faire accepter 340
 - Refroidissement des eaux 290
 - Réfugiés 112
 - Régime climatique à plusieurs vitesses 242
 - Régime climatique international 248
 - à plusieurs vitesses
 - piste par objectif 242
 - piste politique 242
 - approches hybrides 236

- droits au développement dans un monde sous contrainte
 - carbone 238
 - équité des approches à plusieurs vitesses 242
 - et croissance économique 240
 - financement 240, 247
 - finances publiques 245
 - mécanismes de marché 246
 - partage des charges et action opportuniste précoce 236, 238
 - politiques et mesures pour un développement durable (SD-PAMs) 243
 - Régime sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance 241
 - registre d'actions politiques 243
 - Réglementation
 - harmoniser 295
 - inconvenients 308
 - Réglementations
 - efficacité énergétique 208
 - Regroupement
 - bureaucratique 333
 - Réinstallation, programmes de 113
 - Relocalisations des industries énergivores 251
 - Rendements du riz 43
 - Réseau en étoile 297
 - Réserves de conservation 127
 - Résistance
 - agriculture résistante au climat 153
 - bâtir des communautés résistantes 108
 - croissance économique et 46
 - réduction des risques et catastrophes et 102
 - villes et 94
 - Responsabilité des gouvernements 265
 - Responsabilités
 - changement climatique 332
 - gouvernement local 334
 - Royaume-Uni 335
 - Ressources alimentaires
 - approvisionnement 164
 - aquaculture et 160
 - coopération internationale 161
 - crises alimentaires (2008) 110, 163, 171
 - déficit de production alimentaire 148
 - gestion de leau 146
 - prix des 136, 170
 - réserve mondiale 164
 - stocks 164
 - Ressources en eau
 - développement urbain à l'intérieur des terres 94
 - effet des augmentations de température sur les 78
 - privatisation et contrôle des maladies 100
 - projets de systèmes de drainage 103
 - Ressources hydriques 139
 - Restauration
 - des zones humides 63
 - du lit des cours deau 63
 - Rétroactions positives 52
 - Revenus, impact des chocs environnementaux sur les 46
 - Réversibles, options décisionnelles 103
 - Révolution verte 153
 - Riposte des États au changement climatique
 - comme assureurs de dernier recours 104
 - liquidité permettant la 106
 - partenariats public-privé pour le partage des risques climatiques 104, 107
 - Riz, productivité du 148
 - Robuste, prise de décision 142
 - Robustes
 - stratégies 90
 - Rôle de l'État 331
 - Royaume-Uni
 - prise de responsabilités 335
 - quotas efficacité énergétique 214
 - taxe carbone 50
 - Russie
 - effet du changement climatique 148
 - restrictions des exportations 163
- ## S
- Salvador, autonomisation des femmes 45
 - Santé
 - adaptation du système de 97
 - autonomisation des femmes et 45
 - chocs climatiques et 46
 - réduction de la pollution atmosphérique 208
 - Satellitaire, imagerie 167
 - Sécheresse
 - augmentation des 75
 - Sécheresses 44, 80
 - adaptation des communautés aux 108
 - augmentation des 71, 72, 139
 - gestion du risque indexée sur le climat au Mawati 107
 - Secteur privé 342
 - Services
 - culturels 124
 - d'approvisionnement 124
 - d'écosystèmes 124
 - paiements pour les 129
 - de préservation 124
 - de régulation 124
 - de soutien 124
 - Services climatiques mondiaux 296
 - construire 297
 - Servitude écologique 156
 - Seuils
 - de catastrophes irréversibles 80

effets de 52

Shanghai
 migration vers 94
 préparation aux canicules 97

Signaux d'alerte 57

Société coréenne de gestion de l'énergie 217

Société financière internationale (IFC) 217

Socioéconomiques, changements 91

Socioéconomiques, transformations 63

Soja, graines de 167

Solaire, énergie 48

Souples, options décisionnelles 91, 103

Soviétique, plan de développement 48

Stern, rapport sur les aspects économiques des changements climatiques 51

Stratégie de développement intelligente sur le plan climatique 47

Stratégie internationale de prévention des catastrophes (Nations Unies) 164

Stratégies robustes 57, 90

Subventions pour l'énergie renouvelable 208

Sud et Sud-Est asiatiques
 inondations 96
 maladies 97

Super-réfrigérateur 301

SUV 323

Système climatique, fonctionnement 73

Systèmes
 d'alerte avancée 92, 94, 98, 102, 165
 d'irrigation 137, 147, 152

T

Tarifs
 consommation 322

Taux d'émissions
 étiquetage du carbone et 253

Taux d'émissions
 garde-fous et objectifs d'atténuation 57
 pays à revenu élevé 40, 41
 pays en développement 40, 41

Taxation
 carbone virtuel 252
 des carburants aux États-Unis et dans l'Union européenne 212
 du carbone 270, 281
 transports internationaux 270, 279
 énergie 214
 Mécanisme pour un développement propre (MDP) 279
 taxe carbone 189
 relocalisations des industries énergivores 251
 taxe carbone dans les pays développés 214
 taxes aux frontières 254
 taxes climatiques aux frontières 252

Taxe carbone 50

Technologie
 adapter 291
 aide de l'État 312
 brevets 292, 293
 diffusion 288
 enseignement 305
 financement public 312
 financer 303
 investir 310
 rôle de l'État 314
 structures politiques 292
 transférer 302
 transfert 289

Technologies, incitations 308

Télé-détection 147, 166

Télé-détection par satellite 99

Température moyenne du globe 75

Tempêtes, intensité des 75

Tensions
 Nord-Sud 235

Terres humides
 comme protections côtières 130
 pour amortir les dégâts causés par les tempêtes 90

Thaïlande, Département du développement des énergies alternatives et de l'efficacité énergétique 217

Tourbières 148

Tragédie du patrimoine commun 59

Traité climatique 289

Transfert
 de technologies 289
 technologie 302

Transferts de fonds 61

Transferts de technologie 253
 Sud-Sud 254

Transmission vectorielle, maladies à 97

Transparence de la politique climatique 341

Transports 194
 publics 193
 Amérique latine 209
 taxation des émissions du transport international 270, 279

TRIPS 311

Tunisie, gestion de l'eau 145

Tunis, risques d'inondation 95

U

Ukraine
 embargo sur les exportations 49
 restrictions des exportations 163

Union européenne
 échange de quotas démission de gaz à effet de serre 274
 efficacité énergétique 201

Politique agricole commune 175
 prix de l'énergie 212
 réduction des émissions nécessaires 238
 taxation des carburants comparés aux États-Unis 212
 Union internationale pour la conservation de la nature 127, 155
 Unités de quantité attribuées (UQA) 271, 279
 Universités 306
 Utilisation des terres
 écoagriculture et 155
 émissions de gaz à effet de serre dues au changement
 d'affectation des terres 148
 zones protégées 155
 Utilitarisme actualisé 56

V

Vallée de la mort 301
 Vélos électriques 307
 Versants, consolidation des 130
 Viet Nam
 approvisionnement en masse 219
 restrictions des exportations 163

Villes

améliorer la conception des 93, 95, 108
 aménagement urbain amélioré 63
 consommation deau dans les 143
 croissance démographique dans les 42
 croissance démographique des 93
 développement urbain 212
 émissions de gaz à effet de serre 210
 Protocole de Kyoto 210

migration vers les 94, 112
 riposte au changement climatique 93, 95
 Vulgarisation agricole, organismes de 156, 173
 Vulgarisation agricole, services de 103, 108
 Vulnérabilité 89
 Afrique subsaharienne 279
 autonomisation des communautés pour se protéger
 elles-mêmes 108
 aux catastrophes naturelles 101
 besoins de financement 279
 des petits pays 106
 des villes 93
 et capacité d'adaptation 281
 et capacité sociale 280
 filets de sécurité pour les plus vulnérables 110
 gestion évolutive 91

X

X-Prize 300

Y

Yémen, droits sur l'eau négociables 144

Z

Zambie, politiques agricoles préservant la biodiversité 156
 Zimbabwe
 autonomisation des femmes au 45
 effet des chocs climatiques sur la santé et l'éducation 46
 prévisions météorologiques au 165
 Zones côtières à risque 94, 95
 Zones côtières menacées 161

La réalité du changement climatique accroît la complexité des défis considérables que pose actuellement le développement. Ces

deux dynamiques sont inextricablement liées et il importe de leur accorder, conjointement, une attention immédiate. Le changement climatique menace tous les pays, mais plus particulièrement les pays en développement. Comprendre ce qu'il implique pour la politique de développement est l'objectif principal du *Rapport sur le développement dans le monde 2010*.

Selon les estimations, les pays en développement devraient assumer entre 75 et 80 % du coût des dommages causés par le changement climatique. Ils ne peuvent donc absolument pas se permettre de faire abstraction de l'évolution du climat, pas plus qu'ils ne peuvent porter toute leur attention sur les seules mesures d'adaptation. Il est par conséquent impératif de mener une action pour réduire leur vulnérabilité et préparer le passage à des formes de croissance sobres en carbone.

Le *Rapport sur le développement dans le monde 2010* explore les manières dont les politiques publiques peuvent être modifiées pour mieux aider les populations à faire face à des risques nouveaux ou accrus, dont la gestion des terres et des ressources en eau doit être adaptée pour mieux protéger un environnement naturel menacé tout en nourrissant une population de plus en plus nombreuse et prospère, et dont les systèmes énergétiques devront être transformés.

Les auteurs examinent comment intégrer les réalités du développement dans la politique climatique — dans les accords internationaux, dans les instruments adoptés pour générer des financements par le jeu du marché du carbone, et dans les mesures prises pour promouvoir l'innovation et la diffusion de nouvelles technologies.

Le *Rapport sur le développement dans le monde 2010* lance un appel pressant à l'action, à la fois aux pays en développement qui s'efforcent d'assurer la poursuite de politiques adaptées aux réalités et aux dangers d'une planète plus chaude, et aux pays à revenu élevé qui doivent entreprendre d'ambitieux programmes d'atténuation tout en appuyant les efforts des pays en développement.

Les auteurs font valoir qu'un monde intelligent sur le plan climatique est à portée de main à condition d'**agir maintenant** en raison de l'inertie considérable qui caractérise le climat, les infrastructures, les comportements et les institutions ; d'**agir ensemble** pour concilier les besoins de croissance et des choix de développement prudents et d'un coût abordable ; et d'**agir différemment** en investissant dans une révolution énergétique essentielle et en prenant les mesures nécessaires pour s'adapter sur une planète en rapide évolution.

PEARSON Pearson Education France
47 bis, rue des Vinaigriers
75010 Paris
Tél. : 01 72 74 90 00
Fax : 01 42 05 22 17
www.pearson.fr



THE WORLD BANK

ISBN : 978-2-7440-7460-8

