

SOLUTIONS FONDÉES
SUR LA NATURE
AFIN DE PROTÉGER LES
INFRASTRUCTURES
DE TRANSPORT EN

HAITI

DOCUMENT D'ORIENTATION



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery

Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized
Public Disclosure Authorized

SOLUTIONS FONDÉES
SUR LA NATURE

AFIN DE PROTÉGER LES
**INFRASTRUCTURES
DE TRANSPORT EN**

HAITI

DOCUMENT D'ORIENTATION



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery

© 2021 Banque internationale pour la reconstruction
et le développement / Association internationale de
développement ou Banque mondiale
1818 H Street NW
Washington DC 20433
Téléphone: 202-473-1000
Internet: www.worldbank.org

Ce travail est le fruit du personnel de la Banque mondiale,
ainsi que des contributions externes des membres
de l'Association internationale des ports et havres et
du Programme mondial pour les ports durables. Les
constatations, interprétations et conclusions exprimées
dans ce travail ne reflètent pas nécessairement les vues de
la Banque mondiale, de son Conseil d'administrateurs ou
des gouvernements qu'ils représentent.

La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude des
données incluses dans ce travail. Les frontières, les
couleurs, les dénominations et autres informations figurant
sur toute carte dans cet ouvrage n'impliquent aucun
jugement de la part de la Banque mondiale concernant
le statut juridique d'un territoire ou l'approbation ou
l'acceptation de telles frontières.

Rien dans les présentes ne constitue ou ne peut être
considéré comme une limitation ou une renonciation aux
privilèges et aux immunités de la Banque mondiale, qui
demeurent tous spécifiquement réservés.

Droits et autorisations

Le matériel de cette œuvre est soumis au droit d'auteur.
Parce que la Banque mondiale encourage la diffusion
de ses connaissances, ce travail peut être reproduit, en
tout ou en partie, à des fins non commerciales tant que
l'attribution complète à ce travail est donnée.

Toutes les questions sur les droits et les licences doivent être
adressées à World Bank Publications, The World Bank Group,
1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA ; télécopieur
: 202-522-2625; courriel : pubrights@worldbank.org.

Citation — Veuillez citer le travail comme suit : La Banque
mondiale, 2021. «Adoption de solutions fondées sur la nature
afin de protéger les infrastructures de transport en Haïti.
Document d'orientation.» Banque mondiale, Washington, DC.

Cover photo: Lorgensky Pelicier/UNOPS

Remarque des auteurs

Le samedi 14 août 2021, un séisme de magnitude 7,2 a frappé le sud et le sud-ouest d'Haïti. L'Institut américain d'étude géologique (« U.S. Geological Survey ») a localisé l'épicentre de ce séisme à 8 km de la ville de Petit Trou de Nippes, à environ 150 km de la capitale Port-au-Prince, et dans la même région dévastée par l'ouragan Matthew il y a 5 ans ce mois-ci. Trois départements d'Haïti, le Sud, Nippes et la Grand'Anse ont été sévèrement touchés. Bien que moins catastrophique que le tremblement de terre de janvier 2010, d'après les données officielles, on estime que 800 000 personnes ont été touchées, dont 2 207 décès, 12 268 ont été blessées et 650 000 ont besoin d'une réponse humanitaire.

Le tremblement de terre a gravement touché les infrastructures, en particulier les moyens de transport. Les estimations indiquent que 147 km de routes nationales et départementales et environ 510 km de routes non primaires ont été endommagés dans ces trois départements. L'impact sur le secteur des transports s'élève à 150 millions de dollars, dommages et pertes économiques compris. En raison de l'endommagement des routes, de nombreuses communautés ont perdu tout accès au reste de l'île, ce qui a eu pour conséquence que 407 000 personnes supplémentaires dans les départements

de la Grand'Anse et du Sud ont perdu l'accès à des services essentiels pendant plusieurs jours.

Cette note d'orientation a été finalisée quelques semaines avant la catastrophe et son contenu ne reflète donc pas les impacts et les dommages décrits ci-dessus. Cette note se concentre largement sur la zone affectée, car la motivation de ce travail est le résultat des efforts de reconstruction après l'ouragan Matthew. Les trois mêmes départements touchés par le récent séisme faisaient partie des zones pilotes et ont été visitées par l'équipe en 2019 et 2020. Par exemple, elle présente la Route Nationale 7 et la Route Départemental 25 comme des études de cas d'application des solutions NBS et ces deux routes ont été gravement touchées par le tremblement de terre.

Nous espérons que cette note d'orientation pourra soutenir les efforts de redressement en fournissant et en renforçant les connaissances et le cadre pour intégrer des solutions fondées sur la nature dans les projets de transport routier et en veillant à ce que le secteur des infrastructures suive une approche « Build Back Better » pour une Haïti plus forte et résiliente.

Octobre 2021 - Malaika et Xavier

Remerciements

La présente note d'orientation est un effort conjoint entre la pratique mondiale des transports et la pratique mondiale en milieu urbain, en matière de gestion des risques de catastrophe, de résilience et de terres sous l'égide de la communauté de pratique des transports résilients. Elle a été élaborée par Malaika Bécoulet, spécialiste des transports, Xavier Espinet Alegre, économiste des transports, Jordy Chan, consultante en transport, et Beatriz Pozueta, consultante en DRM, avec le soutien de Roland Alexander Bradshaw, spécialiste principal de la gestion des risques de catastrophe, Juliana Castano Isaza, spécialiste de la gestion des ressources naturelles, Aminata Nguitone Dia, Ibrahima Sekou Fakourou Kante et Claudia Ann-Sylvia Tassy. La présente note s'appuie sur le rapport élaboré par le consortium de sociétés TYPSA-AAE-AGREER¹ sous la direction de Patricia Rullan de la Mata et en collaboration avec Laura Abram, Guido Fernandez de Velasco, Kyoshi Yasuo Ochoa Kato, Carmen Cabrera, Mauricio de los Santos et Lilli Ilieva.

Le présent rapport a été financé par le Dispositif mondial de prévention des catastrophes et de relèvement, au titre d'un fonds d'affectation spéciale administré par la Banque mondiale.

La note d'orientation a bénéficié des commentaires d'examen par les pairs de Van Anh Vu Hong, spécialiste principal du développement urbain, d'Océane Keou, spécialiste des transports, de Nicolas Desramaut, ingénieur principal de l'environnement, de l'équipe de la CoP de Nature-Based Solutions composée de Brenden Jongman, spé-

cialiste de la gestion numérique des droits, Borja Gonzalez Reguero, Steven Alberto Carrion et Boris Ton Van Zanten, ainsi que Kevin McCall, spécialiste principal de l'environnement et Andrew Drumm, consultant en environnement.

Fait plus important, le rapport a été élaboré avec l'appui du gouvernement d'Haïti et en consultation avec celui-ci, et notamment du ministère des Travaux publics, des Transports et des Communications. L'équipe tient à souligner la contribution de Robenson Jonas Léger, Frantz Duroseau, Georges, Yves-Fritz, Saint-Victor, Judith, Frantz, Loubens Jovin, Audibert Michel, Ramon Adrien, Frantz Elie Desormes, Luc Clervil, Marie Eveline Larrieux, Arnold Africot, Brismé Jean Claudy, Edzer Lesperance et Alfred Times.

L'équipe tient également à saluer la collaboration de la Banque interaméricaine de développement, plus particulièrement celle d'Albaret Géraud et de Nastasia Keurmeur, qui ont fourni des conseils précieux dans la préparation du présent rapport. L'équipe tient en outre à remercier Anabela Abreu, directrice de pays pour Haïti, Nicolas Peltier-Thiberge, gestionnaire de pratique pour l'Amérique latine et les Caraïbes, Shomik Raj Mehndiratta, gestionnaire de pratique pour la région Asie du Sud, Denis Jordy, chef de programme pour Haïti et Pierre Xavier Bonneau, chef de programme pour l'IAWT⁴, pour leurs soutien, orientation et conseils opportuns et précieux. L'équipe a également reçu le soutien logistique de Licette Moncayo, adjointe de programme, et de Kelly Amanda Jules, co-adjointe de programme.

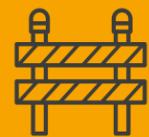
INDEX



Page 5

1. INTRODUCTION

- 1.1 La vulnérabilité d'Haïti aux risques naturels
- 1.2 Des solutions fondées sur la nature pour des infrastructures routières résilientes
- 1.3 Objectif et champ d'application du guide
- 1.4 Public visé
- 1.5 Structure du guide
- 1.6 Outils et ressources des SFN



Page 79

5. LIGNES DIRECTRICES POUR LA PLANIFICATION ET LA MISE EN ŒUVRE DES SFN

- 5.1 **Étape 1.** Analyse de la situation pour définir la portée et le problème
- 5.2 **Étape 2.** Évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité
- 5.3 **Étape 3.** Identification des options de SFN et classement par ordre de priorité
- 5.4 **Étape 4.** Conception et mise en œuvre des options de SFN
- 5.5 **Step 5.** Suivi, évaluation et entretien des options de SFN



Page 17

2. LE CONTEXTE HAÏTIEN : RÉSEAU ROUTIER ET CATASTROPHES

- 2.1 Caractéristiques géographiques clés d'Haïti
- 2.2 Risques naturels en Haïti et contexte du changement climatique
- 2.3 Infrastructures routières en Haïti
- 2.4 Risques naturels et impacts sur les infrastructures routières en Haïti



Page 133

6. MOBILISATION DES PARTIES PRENANTES

- 6.1 Mobilisation des parties prenantes et SFN
- 6.2 Étapes de mobilisation des parties prenantes
- 6.3 Identification of relevant stakeholders
- 6.4 Recommendations



Page 31

3. SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE (SFN) CONCEPTS ET PRINCIPES

- 3.1 Solutions fondées sur la nature favorisant la résilience des infrastructures
- 3.2 Solutions fondées sur la nature et interventions hybrides
- 3.3 Principes relatifs à la mise en œuvre de solution fondées sur la nature
- 3.4 Rôle des SFN dans la protection des infrastructures routières contre les risques climatique



Page 149

7. CATALOGUE

- 7.1 Fiches d'information sur les SFN



Page 55

4. ÉCONOMIE DES SFN POUR L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE

- 4.1 Outils de sélection de stratégies de réduction des risques et d'adaptation
- 4.2 Évaluation des bénéfices et des co-bénéfices des SFN
- 4.3 Évaluation des coûts des SFN
- 4.4 Facteurs clés de résumé à considérer lors de l'évaluation des avantages et des coûts des SFN



Page 197

ANNEXES

- ANNEXE 1 Ressources utiles
- ANNEXE 2 Glossaire
- ANNEXE 3 Méthodologie employée pour produire les cartes de vulnérabilité d'Haïti et résultats
- ANNEXE 4 des espèces appropriées aux SFN en Haïti : forêts
- ANNEXE 5 Étapes 1 à 4 : identification de solutions fondées sur la nature pour la résilience des infrastructures routières en Haïti





1. INTRODUCTION

- 1.1** La vulnérabilité d’Haïti aux risques naturels
- 1.2** Des solutions fondées sur la nature pour des infrastructures routières résilientes
- 1.3** Objectif et champ d’application du guide
- 1.4** Public visé
- 1.5** Structure du guide
- 1.6** Outils et ressources des SFN

1.1

La vulnérabilité d'Haïti aux risques naturels

Haïti est un pays de la mer des Caraïbes d'une surface d'environ 28 000 kilomètres carrés seulement, qui occupe le tiers occidental de l'île d'Hispaniola (La Isla Española) ; la République dominicaine occupe les deux tiers orientaux. Au nord-ouest de la péninsule septentrionale se trouve le passage du Vent, un bras de mer qui sépare Haïti de Cuba, situé à environ quatre-vingt-dix kilomètres. L'extrémité orientale du pays est limitrophe de la République dominicaine.

Le continent d'Haïti a trois régions : la région nord, qui comprend la péninsule nord ; la région centrale ; et la région sud, qui comprend la péninsule sud. En outre, de nombreuses petites îles voisines font partie du territoire entier d'Haïti, dont les plus notables sont Gonâve, Tortue – Tortuga –, Grande Caye et Vache.

La topographie accidentée du centre et de l'ouest d'Hispaniola est reflétée dans le nom « Haïti », qui provient du toponyme autochtone Arawak Aytí (« terre montagneuse ») ; environ les deux tiers de la superficie totale des terres s'élèvent à plus de 1 600 pieds (490 mètres) d'altitude. Le littoral irrégulier d'Haïti forme une longue péninsule élancée au sud et une péninsule plus courte au nord, séparée par le golfe de Gonâve de forme triangulaire. Dans le golfe se trouve l'île de Gonâve, qui a une superficie d'environ 290 milles carrés (750 km²).

Haïti est l'un des pays du monde les plus exposés aux dangers, avec plus de 96 % de sa population subissant le risque de deux dangers ou plus². En raison de sa situation géographique sur la ligne de faille entre deux plaques tec-

toniques, la plaque des Caraïbes et la plaque nord-américaine, Haïti est très sujette aux tremblements de terre et aux tsunamis. Il s'agit d'un pays montagneux et les glissements de terrain sont très fréquents le long de toutes les vallées fluviales, où des années de déforestation ont mis à nu le cours supérieur des bassins occidentaux. En outre, du fait que Haïti se trouve sur la trajectoire de la ceinture d'ouragans régionale de l'Atlantique, l'île subit chaque année de violentes tempêtes pendant la saison régulière des ouragans se produisant entre le 1er juin et le 30 novembre. Il en résulte généralement d'importantes inondations intérieures et côtières. En outre, pendant cette période, le pays est exposé à d'autres risques naturels tels que l'augmentation de l'érosion côtière ou la sécheresse (généralement dans un délai de cinq ans, coïncidant avec les conditions d'El Niño).

Il est prévu que les changements climatiques augmenteront la fréquence et la gravité des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes en Haïti, exacerbant ainsi l'impact de ces dangers. Ceci aura pour conséquences des températures plus élevées et prolongera la durée des tempêtes tropicales et les ouragans et les intensifiera. Il est aussi prévu que les épisodes de précipitations extrêmes s'aggraveront, tandis que la saison sèche amplifiera les effets du changement climatique, avec des changements dans la périodicité et la fréquence des sécheresses. L'élévation du niveau de la mer augmentera l'impact de l'érosion côtière et des inondations sur les zones côtières.

 **Figure 1:** Carte géographique et topographique d'Haïti (Source : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Haiti_topographic_map-fr.svg)

En raison de sa situation géographique sur la ligne de faille entre deux plaques tectoniques, la plaque des Caraïbes et la plaque nord-américaine, **Haïti est très sujette aux tremblements de terre et aux tsunamis.**

L'impact du changement climatique sur l'infrastructure routière a déjà été observé dans de nombreux domaines tels que la détérioration des chaussées et des fondations des routes, l'érosion des bases routières, l'incapacité des systèmes de drainage et de débordement à faire face à une vitesse plus forte ou plus rapide des écoulements d'eau, et les fondations de ponts touchées.

La vulnérabilité du pays, en ce qui concerne l'infrastructure routière face aux risques naturels et au changement climatique, s'est accrue tout en se développant. Par exemple, le processus de déforestation dans le pays a entraîné la

perte de la majeure partie du couvert forestier, rendant le pays sujet à des érosions accrues et à des glissements de terrain. L'impact des ouragans, des tempêtes tropicales, des inondations et des sécheresses a aggravé d'autres facteurs anthropiques tels que les pratiques d'urbanisation inappropriées, l'utilisation non durable des ressources naturelles et la gestion inadéquate des déchets³. En outre, des décennies de pauvreté, d'instabilité politique et de violence ont laissé les infrastructures du pays gravement compromises et celui-ci est incapable de faire face aux impacts climatiques et risques naturels.

1.2

Des solutions fondées sur la nature pour des infrastructures routières résilientes

Les interventions classiques en matière d'ingénierie matérielle et d'infrastructure grise ne sont pas en mesure de s'adapter et de compenser les divers effets des changements climatiques (par exemple l'élévation du niveau de la mer) et doivent donc être régulièrement maintenues et renforcées, ce qui entraîne des répercussions importantes sur les coûts. De plus, ces structures ont souvent des effets négatifs indésirables (par exemple l'érosion côtière) dans d'autres endroits, ce qui modifie considérablement la fonction de l'environnement physique particulier (par exemple les rivages) en raison de l'interaction des stratégies de protection avec les processus naturels, ainsi qu'avec les écosystèmes correspondants. Dans l'environnement côtier, les structures d'ingénierie dure, telles que les digues, les brise-lames ou les revêtements, entraînent souvent une réduction du transport de sédiments et la perte d'habitats intertidaux des zones humides et des plages.

La biodiversité et les écosystèmes offrent des avantages importants à la société, en particulier la capacité de s'adapter aux effets néfastes du changement climatique et la réduction des risques de catastrophe. Par exemple, la végétation côtière, comme les mangroves, peut dissiper l'action des vagues, protéger les rivages, s'adapter aux flux d'inondation, et

les montagnes et pentes boisées peuvent stabiliser les sédiments, atténuant ainsi les glissements de terrain. L'écosystème peut prolonger la durabilité et la durée de vie des infrastructures telles que les routes, protéger les investissements dans les défenses techniques et restaurer les marais salants adjacents aux digues.

Le renforcement de la résilience aux risques naturels et l'adaptation aux changements climatiques sont des processus qui devraient être intégrés au cycle de planification et aux procédures de gestion des risques de l'autorité routière. Les solutions basées sur la nature (SFN) sont une alternative attrayante aux solutions d'ingénierie dure, très souvent reconnues comme des interventions rentables qui, lorsque cela est possible dans un contexte spécifique, peuvent améliorer la durabilité et la résilience des infrastructures routières face à l'impact des risques naturels et des effets du changement climatique.

Il est nécessaire d'intégrer les interventions de réduction des risques de catastrophe et d'adaptation au changement climatique SFN, dans les conceptions existantes et futures des infrastructures routières, pour renforcer leur résilience. Une condition serait de fournir les outils nécessaires pour s'assurer que les parties prenantes haïtiennes puissent planifier, gérer et lancer des interventions tenant compte du paysage d'une manière holistique.





1.3

Objectif et champ d'application du guide

Le présent guide s'appuie sur le travail accompli progressivement sur les SFN, y compris sur les lignes directrices, cadres et principes existants concernant l'adaptation, la réduction des risques de catastrophe, la conservation et le développement. Un aperçu des lignes directrices existantes, sur lesquelles s'appuient ces présentes lignes, est fourni dans l'encadré concernant les ressources (Voir annexe 1).

Le guide vise à soutenir l'introduction d'interventions fondées sur la nature dans le cadre de structures d'ingénierie lourde plus tradi-

tionnelles, afin d'améliorer la durabilité et la résilience des infrastructures routières en Haïti.

Il s'attache donc à trouver des moyens plus rentables et plus écologiques de garantir la résilience des infrastructures routières, ainsi que des développements de l'aménagement du territoire en général face aux risques naturels. Il fournit des conseils pour que les infrastructures et les dispositifs d'aménagement du territoire actuels et futurs en Haïti soient planifiés de manière appropriée et puissent s'adapter aux risques naturels et aux changements climatiques prévus.

1.4

Public visé

Le guide inclut des lignes directrices stratégiques pour la planification, la conception et la gestion de SFN renforçant la résilience des infrastructures routières. Il s'adresse donc :

A. Secteur Public et organisations de sociétés civiles

Aux personnes techniquement compétentes des organisations ou des groupes ayant des responsabilités ou des besoins en matière de planification, de conception ou de suivi/d'entretien dans le cadre d'interventions techniques concernant des infrastructures routières ou autres. Ces utilisateurs incluent les gestionnaires de biens, les planificateurs et intervenants des situations d'urgence et de la protection civile, les évaluateurs et les concepteurs de réseaux routiers, les dispositifs de gestion du littoral et les groupes communautaires locaux.

B. Secteur Privé

Aux promoteurs, concepteurs et entrepreneurs (et autres sociétés) impliqués dans l'élaboration ou l'amélioration de mesures de gestion ou de programmes d'intervention.



1.5

Structure du guide

Le présent guide est divisé en sept parties comme suit: **La première partie** précise le champ d'application du guide et le public visé. **La deuxième partie** fournit des informations sur le contexte haïtien et sur ses infrastructures routières exposées aux catastrophes. **La troisième partie** introduit le concept de solutions fondées sur la nature (SFN). **La quatrième partie** propose une approche par étapes pour la planification et la mise en œuvre des SFN. **La cinquième partie** démontre l'importance de la mobilisation des parties prenantes dans les SFN. **La sixième partie** est une liste de SFN visant à améliorer la résilience des infrastructures routières, adaptées au contexte haïtien. Enfin, **la septième partie** présente des exemples de plans élaborés pour Haïti dans le but de renforcer les infrastructures routières.

1.6

Outils et ressources des SFN

Au cours de la dernière décennie, il y a eu une prise de conscience, un intérêt et un élan croissants des communautés, des donateurs, des politiciens et des décideurs, pour l'application de solutions fondées sur la nature (SFN) dans le cadre de la réduction des risques de catastrophe, de l'adaptation au changement climatique et de stratégies d'atténuation et de développement durable. Outre l'augmentation de la résilience aux aléas naturels et au changement climatique, les interventions de la SFN ont fourni de multiples co-bénéfices socioéconomiques et environnementaux. Le concept SFN a suscité un immense intérêt dans la communauté scientifique au cours des dernières années. Un ensemble croissant de connaissances et d'expériences continue de renforcer l'application de SFN dans divers contextes, et s'accompagne d'un nombre croissant d'outils et de ressources pour leur conception et leur mise en œuvre en vue de réduire les risques de catastrophe et de s'adapter au changement climatique. Certains protocoles, lignes directrices et enseignements tirés de l'application de ces approches figurent dans un certain nombre d'études de cas, en particulier pour l'utilisation de ces approches dans les zones côtières et les zones urbaines, ainsi que pour l'agriculture et la gestion de l'environnement ;

cependant, contrairement aux solutions traditionnelles d'ingénierie dure, qui ont une longue histoire de développement de protocoles et de normes, ces solutions demeurent émergentes et n'ont pas encore été pleinement évaluées et normalisées, et des orientations et normes supplémentaires doivent être élaborées pour soutenir tous les professionnels impliqués dans le développement du projet (par exemple les concepteurs, les exécutants, les bailleurs de fonds, les évaluateurs et autres). L'élaboration de lignes directrices et d'enseignements tirés des études de cas permet d'obtenir une approche commune de l'efficacité, de la réduction des risques et des résultats d'adaptation de cette approche. Il est donc nécessaire de continuer à construire le corpus de connaissances et d'expériences sur l'application des SFN pour la réduction des risques de catastrophe et le changement climatique et de l'adapter à d'autres secteurs, comme le secteur des transports. En s'appuyant sur la littérature existante, le présent document fait un pas en avant vers la normalisation des lignes directrices concernant l'utilisation des SFN pour la protection des infrastructures routières ; il décrit la façon dont ces solutions peuvent être conceptualisées et appliquées dans la pratique, en prenant le cas d'Haïti comme exemple.

Initiatives de l'UE pour la promotion des NBS

Les NBS ont été identifiés par la Commission européenne comme un cadre stratégique pour soutenir la durabilité. «La vision de la Commission européenne est de positionner l'UE comme un leader de l'innovation basée sur la nature pour des sociétés durables et résilientes», et pour y parvenir, elle a été très active dans l'établissement d'une base de données sur

les NBS, le développement d'un référentiel de bonnes pratiques, la création d'une communauté d'innovateurs NBS, et l'amélioration de la communication et de la sensibilisation aux NBS. Le tableau suivant énumère les programmes de financement de l'UE, les projets NBS, les plateformes et les réseaux qui ont été ou sont financés par la Commission européenne depuis 2011.



Recherche et innovation | Actions et partenariats

Biodiversa (<http://www.biodiversa.org/>)

Clever Cities (<http://clevercities.eu/>)

Connecting Nature (<https://connectingnature.eu/>)

EdiCitNET (https://cordis.europa.eu/project/rcn/216082_de.html)

Eclipse (<http://www.eclipse-mechanism.eu/>)

GRaBS (<http://www.ppgis.manchester.ac.uk/grabs/>)

Green surge (<https://greensurge.eu/>)

Grow Green (<http://growgreenproject.eu/>)

Inspiration (<http://www.inspiration-h2020.eu/>)

Nature4Cities (<https://www.nature4cities.eu/>)

Naturvation (<https://naturvation.eu/>)

NAIAD (<http://www.naiad2020.eu/>)

OpeNESS (<http://www.openness-project.eu/>)

OPERAs (<http://operas-project.eu/>)

OPERANDUM (<https://www.operandum-project.eu/>)

PHUSICOS (<https://phusicos.eu/>)

proGReg (<http://www.progreg.eu/>)

Reconnect (<https://reconnect-europe.eu/>)

TURAS (<http://r1.zotoi.com/>)

Unalab (<https://www.unalab.eu/>)

Urban GreenUp (<http://www.urbangreenup.eu/>)

URBINAT (<http://urbinat.eu/>)

ReNAture (<http://renature-project.eu/>)



Plateformes de dialogue pour promouvoir l'innovation avec les NBS

ThinkNature (<https://www.think-nature.eu/>)

Oppla (<https://www.oppla.eu/>)

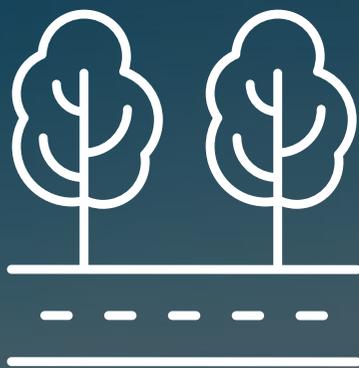
EU Smart Cities Information System (SCIS) (<https://www.smartcitiesinfosystem.eu/>)

EU Climate Adaptation Platform CLIMATE-ADAPT (<https://climate-adapt.eea.europa.eu/>)

Sustainable Cities Platform (<http://www.sustainablecities.eu/>)

Source: ³





2. LE CONTEXTE HAÏTIEN : RÉSEAU ROUTIER ET CATASTROPHES

- 2.1** Caractéristiques géographiques clés d'Haïti
- 2.2** Risques naturels en Haïti et contexte du changement climatique
- 2.3** Infrastructures routières en Haïti
- 2.4** Risques naturels et impacts sur les infrastructures routières en Haïti

2.1

Caractéristiques géographiques clés d'Haïti

La partie continentale d'Haïti compte les trois régions suivantes : la région nord, qui comprend la péninsule nord ; la région centrale ; et la région sud, qui comprend la péninsule sud. Le pays comporte environ 1 771 km de côtes, généralement rocheuses et bordées de falaises, et l'extension du plateau totalise environ 5 000 km². Le pays est caractérisé par des côtes assez étroites et des plaines situées entre des chaînes de montagnes escarpées et le littoral. Haïti se caractérise également par plusieurs grandes chaînes de montagnes qui s'étendent d'est en ouest (voir figure 1 ci-dessus). Environ deux tiers de la superficie totale ont une altitude supérieure à 490 mètres.

Dans la région nord, la chaîne principale est le Massif du Nord, une extension du centre de la chaîne de montagnes (Cordillera Central) située en République dominicaine, qui commence à la frontière orientale d'Haïti, au nord de la rivière Guayamouc et s'étend au nord-ouest à travers la péninsule nord. Le Massif du Nord s'échelonne en altitude de 600 à 1 100 mètres. Il jouxte la Plaine du Nord, qui se situe le long de la frontière nord avec la République dominicaine, entre le Massif du Nord et l'océan Atlantique Nord. Cette zone de plaine de 2 000 km² est longue d'environ 150 km et a une largeur de 30 km.

La région centrale se compose de deux plaines et de trois ensembles de chaînes de montagnes. Le Plateau central (Centre Plateau) s'étend de part et d'autre de la rivière Guayamouc, au sud du Massif du Nord. Il est de 85 km du sud-est au nord-ouest et a une largeur de trente km. Le Plateau a une moyenne altitude d'environ 300 mètres. Il est délimité au sud-ouest par les Montagnes Noires (Black Mountains), avec des altitudes allant jusqu'à environ 600 mètres. La partie la plus au nord-ouest de la chaîne de

montagnes se confond avec le Massif du Nord. Au sud-ouest des Montagnes Noires et orientée autour de la rivière Artibonite est la plaine de l'Artibonite, qui a une superficie d'environ 800 km². Au sud de cette plaine se trouvent la chaîne des Matheux et la chaîne du Trou d'Eau, qui sont un prolongement de la Sierra de Neiba située en République dominicaine.

La région méridionale se compose de la plaine du Cul-de-Sac et de la péninsule méridionale montagneuse. La Plaine du Cul-de-Sac, délimitée au nord par la chaîne des Matheux et la chaîne du Trou d'Eau, est une dépression naturelle de 12 km de large, qui s'étend sur 32 km de la frontière avec la République dominicaine jusqu'à la côte de la Baie de Port-au-Prince (Baie de Port-au-Prince). Les montagnes de la péninsule méridionale, une extension de la chaîne montagneuse méridionale de la République dominicaine (la Sierra de Baroco), s'étendent de la chaîne de la Selle à l'est au Massif de la Hotte à l'ouest. Le plus haut sommet de cette chaîne, le Pic la Selle, est le point culminant d'Haïti (2 680 mètres), et situé à une distance de 18 km du littoral. La pente moyenne est de 18,5°. Le Massif de la Hotte varie en altitude de 1 270 à 2 255 mètres.

Les rivières sont nombreuses mais courtes, et la plupart d'entre elles ne sont pas navigables. Au total, Haïti compte environ 3 300 km de grands fleuves (pérennes), principalement concentrés dans le sud-ouest et le centre-nord. Bien qu'une centaine de ruisseaux traversent Haïti, le seul grand fleuve est l'Artibonite, long de 245 km (145 milles). Il est peu profond mais long, et son débit est en moyenne dix fois supérieur à celui de tous les autres fleuves. Le deuxième fleuve le plus long s'appelle Les Trois Rivières et se jette dans l'océan Atlantique à la ville de Port-de-Paix.



2.2

Risques naturels en Haïti et contexte du changement climatique

Selon les données recueillies par le Ministère haïtien de l'agriculture, des ressources naturelles et de développement rural (Ministère de l'agriculture, des ressources naturelles et de développement rural, ou MARNDR), les températures moyennes observées ont augmenté de plus d'un degré centigrade entre 1973 et 2003. Des conditions climatiques extrêmes et variables alternent entre la sécheresse en saison sèche (généralement de décembre à avril) et d'intenses tempêtes et ouragans en saison humide (généralement de mai à novembre). Haïti se trouve dans la voie principale (ceinture des ouragans) des tempêtes tropicales qui prennent naissance

dans l'océan Atlantique et frappent les îles des Caraïbes à chaque saison des ouragans. Selon les témoignages de citoyens, le pays a connu des changements radicaux dans la variabilité climatique, notamment en ce qui concerne la saisonnalité des précipitations et la fréquence et l'intensité des ouragans et des tempêtes tropicales, qui ont entraîné des inondations et de l'érosion, dont les impacts sont amplifiés par une grave dégradation de l'environnement et peuvent être attribués au changement climatique. Les changements de variabilité et de conditions météorologiques extrêmes constatés par les citoyens haïtiens sont en ligne avec le quatrième rapport d'éva-

luation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Par exemple, le rapport indique que dans les années 1990, 35 % des cyclones tropicaux étaient classés dans la catégorie 4 ou 5, contre seulement 20 % dans les années 1970.

Les inondations sont un problème majeur dans presque tous les 30 principaux bassins versants d'Haïti, en raison des précipitations saisonnières intenses, des ondes de tempête dans les zones côtières, d'une nature déboisée et érodée et des canaux fluviaux chargés de sédiments. Pendant la saison des tempêtes tropicales et des ouragans, jusqu'à 200 millimètres de pluie en moyenne peuvent tomber par mois⁴. Cela conduit à un ruissellement rapide des mornes déboisés et érodés (petites montagnes) et des collines (crues éclair), ainsi qu'à un débordement des rivières.

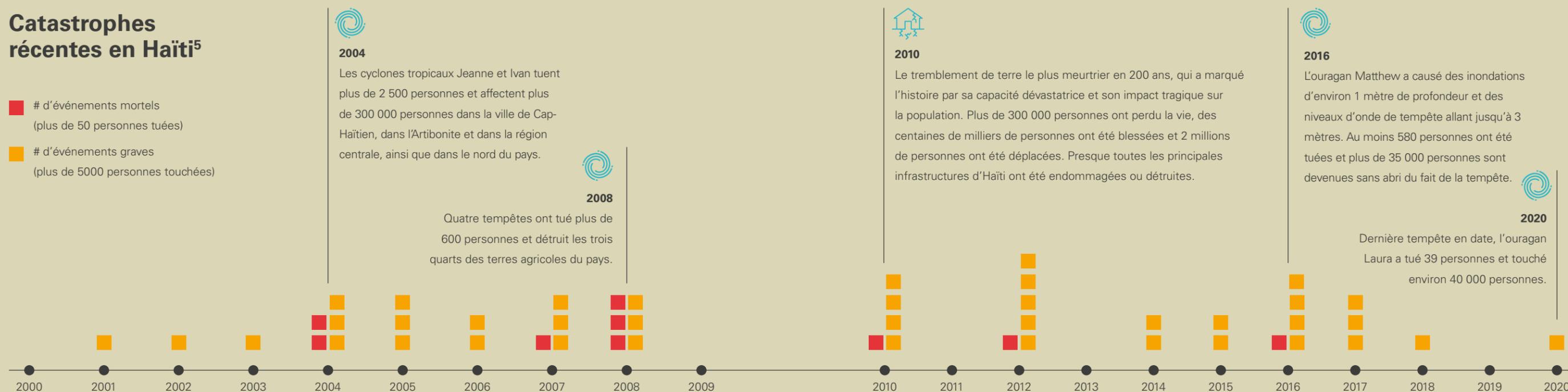
Les inondations emportent les sols fertiles, les déposant sur les lits des rivières (l'Artibonite, la Grande Rivière de Jacmel,

et la rivière de Grande Anse, par exemple). La sédimentation massive a soulevé les lits de nombreuses voies navigables, et les remblais et les digues sont quasiment absents. Ces facteurs intensifient la prochaine vague d'inondations, entraînant la destruction de récoltes, de terres et d'infrastructures agricoles, ainsi que la perte de vies humaines et de bétail. Le changement climatique devrait exacerber ces problèmes.

Les plaines basses des départements de l'ouest et de l'Artibonite et les étroites zones côtières du sud, les départements du sud-est, de la Grande Anse et des Nippes sont particulièrement vulnérables aux inondations. Sur la plaine cul-de-sac du département de l'ouest, les bassins de la Rivière Blanche et de la Rivière Grise sont particulièrement soumis à de graves inondations. Les villes côtières très peuplées, comme Jacmel, Les Cayes et les Gonaïves, sont directement situées sur la trajectoire des tempêtes.

Catastrophes récentes en Haïti⁵

- # d'événements mortels (plus de 50 personnes tuées)
- # d'événements graves (plus de 5000 personnes touchées)



2.3

Infrastructures routières en Haïti

Haïti dispose d'un réseau routier initialement structuré autour d'échelles nationale, départementale et municipale. Ce réseau est fortement dégradé et la plus grande partie est dans un état de détérioration extrême ; le réseau a perdu environ 30 % de son étendue au cours des 15 dernières années. Il est structuré autour d'un réseau d'une longueur approximative de 3 400 km, avec la classification suivante :

- Le *réseau national (primaire)*, qui s'étend sur 978 km, relie les villes du pays dont l'importance socioéconomique ou politique revêt un caractère prioritaire.
- Le *réseau départemental (secondaire)*, long d'environ 1 615 km, relie les zones urbaines de moindre importance au réseau national.
- Le *réseau municipal (tertiaire)* couvre environ 873 km et assure la fonction de desserte du territoire des communes.

Le réseau routier est caractérisé par :

- Une faible proportion de routes goudronnées

(moins de 20 %), essentiellement concentrées sur le réseau primaire ;

- Des routes délimitées par des passages de rivières et des ravins.

Les routes principales et les ponts d'Haïti ont été gravement endommagés par diverses catastrophes naturelles, ce qui a pour effet de limiter l'accès aux routes en état de fonctionnement et leur utilisation, avec de graves conséquences pour la population. Les nombreuses routes endommagées empêchent la circulation des biens et des services entre les régions du pays. La difficulté à transporter de la nourriture et diverses marchandises a contribué à perpétuer la faim et la pauvreté dans tout le pays.

Les configurations les plus vulnérables communément identifiées en Haïti sont les routes côtières, les routes de montagne et les passages (ponts et franchissements). Ces configurations, ou « unités de gestion des routes », sont présentées de manière schématique dans la figure 3 ci-après.

Les routes principales et les ponts d'Haïti ont été gravement endommagés **par diverses catastrophes naturelles.**

 **Figure 2:** Catastrophes récentes en Haïti

- Frontière départemental
- Route National
- Route départemental
- Route communale
- Autre
- Plan d'eau



1. Routes de montagne :

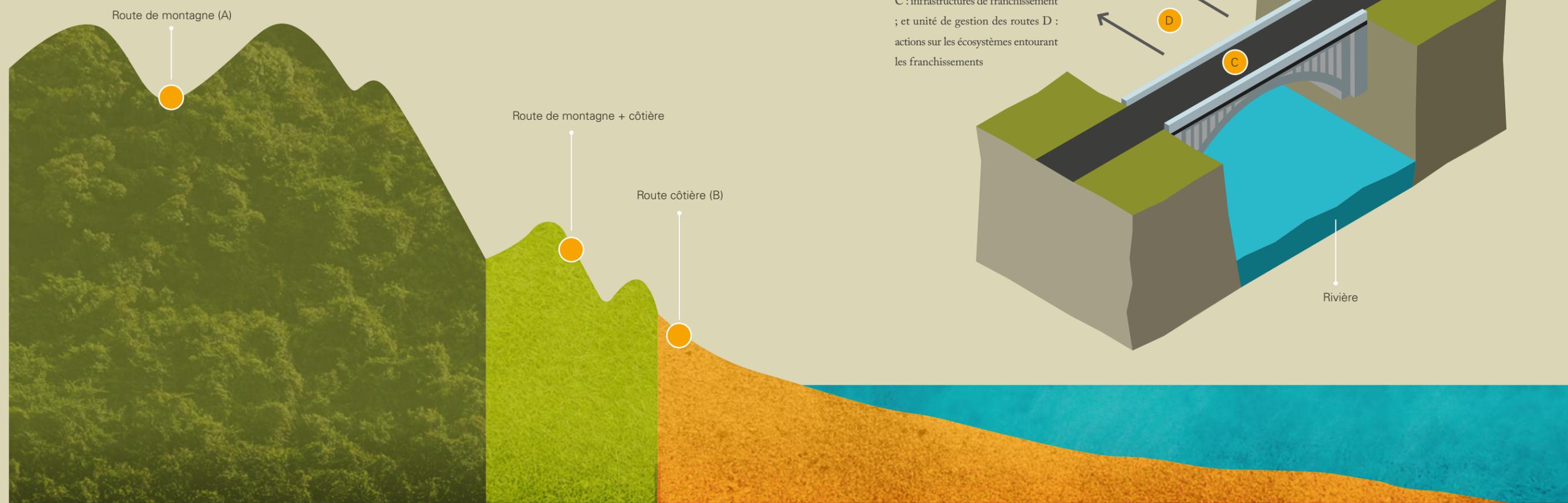
Haïti est un pays montagneux dont les écosystèmes ont été fortement altérés et présente des degrés élevés d'érosion et des risques de glissements de terrain. Pour atténuer ces effets sur les routes de montagne, les SFN visent généralement à assurer une plus grande stabilité des pentes ascendantes et descendantes des routes et à revoir les systèmes de drainage.

2. Routes côtières :

Une grande partie du réseau routier du pays s'étend à proximité des côtes et pâtit des ondes de tempête et de l'érosion côtière. Pour atténuer ces effets, les mesures de SFN tendent à restaurer et à promouvoir l'environnement marin et côtier et sont associées à des mesures hybrides de stabilisation et de protection.

En Haïti, les routes présentent souvent les configurations (A) et (B) en même temps (voir figure 3 ci-dessus). Dans ce cas, il n'existe pas de solution unique qui puisse les protéger contre ces deux problèmes. La mise en œuvre d'une combinaison de solutions appropriées répondant aux configurations (A) et (B) doit alors être envisagée.

Figure 3: Unités de gestion des routes A et B : routes de montagne et routes côtières

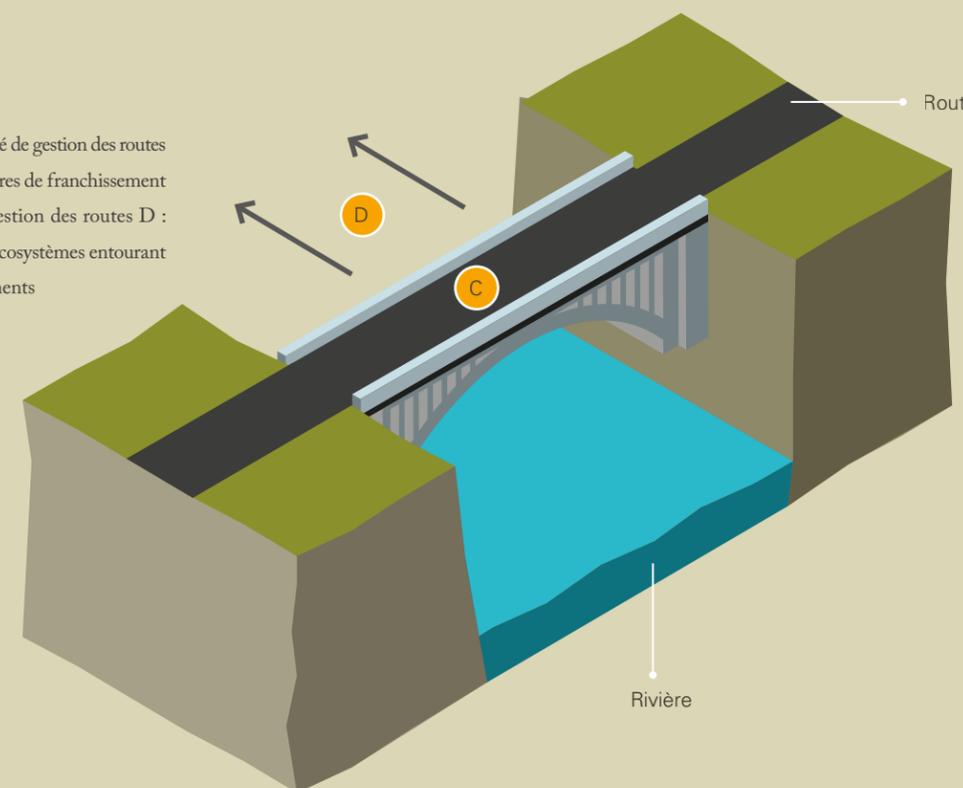


3. Franchissements/ponts :

Un des problèmes les plus courants en Haïti est lié à l'impact des crues des rivières sur les infrastructures qui les enjambent. Outre les inondations de plus en plus fréquentes et intenses, l'impact de la dégradation des berges et l'excès de sédiments qui s'accumule de ce fait à la base des infrastructures compromettent la stabilité de celles-ci. Les sédiments provoquent alors une augmentation de la vitesse de l'eau et les débits finissent par modifier la structure. Dans de telles configurations, les SFN peuvent fonctionner à la fois sur le site spécifique des infrastructures (C) et au niveau du bassin, avec des actions en amont des infrastructures (D) (voir figure 4 ci-après).

Un des problèmes les plus courants en Haïti est lié à **l'impact des crues des rivières sur les infrastructures** qui les enjambent.

Figure 4: Unité de gestion des routes C : infrastructures de franchissement ; et unité de gestion des routes D : actions sur les écosystèmes entourant les franchissements



2.4

Risques naturels et impacts sur les infrastructures routières en Haïti

Des preuves existent qui soulignent que le changement climatique a un impact sur les infrastructures routières en Haïti, par exemple la fréquence et la gravité accrues des inondations, la fréquence croissante des glissements de terrain ou les dommages causés aux routes par la chaleur excessive. Le changement climatique peut entraîner de nouveaux risques et dangers ou peut exacerber et contribuer à d'autres risques et dangers existants.

Les infrastructures routières sont très exposées et sensibles à la fréquence et à la gravité accrues des catastrophes liées aux conditions météorologiques (élévation du niveau de la mer, ondes de tempête, glissements de terrain). Les changements climatiques prévus auront probablement un impact important sur la planification, la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien des infrastructures routières. Ils

présenteront donc un risque stratégique pour les autorités routières, ce qui nécessite de prendre en compte et d'adopter des principes d'adaptation pour faire face aux impacts potentiels⁶.

Bien que les infrastructures routières soient généralement conçues pour résister aux conditions météorologiques et climatiques locales, les concepteurs et les ingénieurs s'appuient généralement sur les données climatiques historiques pour concevoir les infrastructures routières. Toutefois, en raison du changement climatique, l'utilisation des seules données climatiques historiques n'est plus un indicateur fiable des impacts futurs. La plupart des infrastructures routières sont aujourd'hui construites pour durer au moins 50 ans et il est important de comprendre les effets que pourraient avoir les futurs changements climatiques sur ces infrastructures pour protéger les investissements à long terme.



Tableau 1: Impacts potentiels du changement climatique sur les infrastructures routières (7, 8).

Projection du changement climatique en Haïti	Risque naturel potentiel et changement climatique	Impact sur les infrastructures routières en Haïti
Les températures devraient augmenter de 0,5°C à 2,3 °C d'ici à 2060	Augmentation des températures	<ul style="list-style-type: none"> • Boudages plus fréquents subis par les routes • Détérioration de l'intégrité de la chaussée • Dilatation thermique sur les joints de dilatation des ponts et les surfaces pavées
L'augmentation prévue de la température, associée à la diminution des précipitations pendant les mois critiques de l'été (juin-août), devrait intensifier les conditions de sécheresse	Augmenter les températures et diminuer les précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion des armatures en acier dans les structures en béton en raison de l'augmentation des niveaux de sel de surface à certains endroits
	Augmentation des conditions desécheresse	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages causés à l'infrastructure routière en raison de la vulnérabilité accrue aux feux de forêt non contrôlés plus vastes • Dommages aux infrastructures en raison de la vulnérabilité accrue aux coulées de boue dans les zones déboisées par les feux de forêt
Le niveau de la mer devrait s'élever de 0,05 m. à 0,22 m. d'ici à 2030 dans les Caraïbes	L'élévation du niveau de la mer ajoutée aux ondes de tempête	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation des routes dans les zones côtières • Inondations plus fréquentes ou plus graves des infrastructures de faible niveau • Dommages causés aux routes et aux ponts par les inondations, les inondations dans les zones côtières et l'érosion côtière • Dommages causés aux infrastructures par l'affaissement des terres et les glissements de terrain • Érosion de la base routière et des soutènements des ponts • Affouillement du pont • Dégagement réduit sous les ponts • Perte de milieux humides côtiers et de rivages de barrière
Les précipitations d'ouragans peuvent augmenter de 6 à 17 %, tandis que la vitesse des vents de surface des ouragans les plus forts augmentera de 1 à 8 %, avec des augmentations associées des niveaux d'ondes de tempête.	Augmentation des précipitations intenses	<ul style="list-style-type: none"> • Lavages plus fréquents de surfaces non pavées • Augmentation des inondations et des dommages causés aux routes et aux systèmes de drainage en raison des inondations • Surcharge des systèmes de drainage, causant des refoulements et des inondations dans les rues • Augmentation de l'affouillement des routes, des ponts et des structures de santé • Dommages causés aux infrastructures routières par les glissements de terrain et les crues soudaines • Détérioration de l'intégrité structurale des routes et des ponts en raison de l'augmentation des niveaux d'humidité du sol • Effets néfastes de l'eau stagnante sur le bord de la route
	Augmentation de l'intensité des tempêtes (ouragans forts plus fréquents, de catégorie 4-5)	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages à l'infrastructure routière et probabilité accrue de défaillances de l'infrastructure • Menace accrue pour la stabilité des tabliers des ponts • Dommages accrus aux panneaux, aux appareils d'éclairage et aux supports • Réduire la durée de vie prévue des routes exposées aux ondes de tempête
	Augmentation de la vitesse du vent	<ul style="list-style-type: none"> • Panneaux et structures hautes à risque en raison de l'augmentation de la vitesse du vent





3. SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE (SFN) CONCEPTS ET PRINCIPES

- 3.1** Solutions fondées sur la nature favorisant la résilience des infrastructures
- 3.2** Solutions fondées sur la nature et interventions hybrides
- 3.3** Principes relatifs à la mise en œuvre de solution fondées sur la nature
- 3.4** Rôle des SFN dans la protection des infrastructures routières contre les risques climatique

3.1

Solutions fondées sur la nature favorisant la résilience des infrastructures

Les solutions fondées sur la nature (SFN) sont définies par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) comme « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité ». Le cadre des SFN est issu de l'approche écosystémique, qui sous-tend la Convention sur la diversité biologique (CDB) et considère que la conservation de la biodiversité et le bien-être humain dépendent du fonctionnement et de la résilience des écosystèmes naturels⁸.

Les SFN visent à conserver ou à restaurer la nature pour soutenir les systèmes d'infrastructure construits de manière conventionnelle et peuvent réduire les risques de catastrophe et produire des services plus résistants et moins coûteux dans les pays en développement. Dans les secteurs de la gestion des risques de catastrophe (GRC) et de la sécurité de l'eau, les SFN peuvent être appliquées comme des stratégies d'infrastructures durables qui fonctionnent en harmonie avec les systèmes d'infrastructures grises. Les SFN peuvent également favoriser le bien-être des communautés, générer des bénéfices pour l'environnement et engendrer des progrès au regard des objectifs de développement durable (ODD), que les systèmes d'infrastructures grises ne peuvent réaliser à eux seuls.

Les SFN peuvent être considérées comme un concept général couvrant diverses approches fondées sur les écosystèmes qui répondent à des défis sociétaux spécifiques ou multiples, tout en apportant simultanément des avantages en termes de bien-être humain et de biodiversité. Par mesure de simplification, les approches relevant des SFN peuvent être classées en cinq catégories (voir figure 5 ci-après) :

-
- Restauration (restauration écologique, restauration des paysages forestiers, génie écologique).
 - Problématiques spécifiques (adaptation fondée sur les écosystèmes ; atténuation fondée sur les écosystèmes ; réduction des risques de catastrophe basée sur les écosystèmes ; services d'adaptation au climat).
 - Infrastructures (infrastructures naturelles ; infrastructures vertes).
 - Gestion (gestion intégrée des zones côtières ; gestion intégrée des ressources en eau).
 - Protection (approches de conservation par zone, incluant la gestion des zones protégées et d'autres mesures efficaces de conservation par zone).
-



 **Tableau 2:** Description et exemples de catégories de SFN

Catégorie d'approche du SFN	Description	Types		Exemples ⁹
Réparatrice	<p>Processus technique qui vise à recréer, initier ou accélérer le rétablissement d'un écosystème qui a été perturbé - dégradé, endommagé ou détruit.</p> <p>Les activités de restauration ne sont peut-être pas un objectif principal des projets d'infrastructure de transport, mais elles peuvent être utilisées dans le cadre d'efforts d'atténuation compensatoires¹⁰.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La restauration écologique (RE) est le processus qui aide au rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit. (SER 2004). • L'ingénierie écologique (IE) se concentre sur la conception d'écosystèmes durables qui intègrent la société humaine à son environnement naturel au profit commun¹¹. • La restauration des paysages forestiers (RLF) est le processus à long terme visant à retrouver la fonctionnalité écologique et à améliorer le bien-être humain dans les paysages forestiers déboisés ou dégradés¹². 		<ul style="list-style-type: none"> • Revégétalisations : zones tampons végétalisées qui protègent la qualité de l'eau dans les écosystèmes riverains contre le ruissellement urbain ou agricole • Amélioration de l'habitat : • Assainissement : restauration des milieux humides marémoteurs • Atténuation : mesures d'assainissement prescrites par la loi en cas de perte d'espèces ou d'écosystèmes protégés • Conception des ruisseaux à marée • Introduction d'espèces végétales particulières pour la restauration des marais salants <p>Utilisation d'espèces qui emprisonnent les sédiments pour la protection côtière d'un rivage sablonneux</p>
Spécifique à un problème	<p>Les approches écosystémiques qui varient en fonction de leur objectif, y compris l'adaptation écosystémique (EbA), l'atténuation écosystémique (EbM), la réduction des risques de catastrophe basée sur l'écosystème (Eco-DRR) et les services d'adaptation au climat (CAS).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Approches écosystémiques de l'adaptation (EbA), utilisation de la biodiversité et des services écosystémiques pour aider les populations à s'adapter aux effets néfastes du changement climatique. • Approches écosystémiques de l'atténuation (EbM), utilisation des écosystèmes pour leur service de stockage et de séquestration du carbone afin de faciliter l'atténuation des changements climatiques. • La réduction des risques de catastrophe fondée sur les écosystèmes (Eco-RRC) réduit les risques de catastrophe en atténuant les dangers et en augmentant la résilience des moyens de subsistance¹⁵. • Les services d'adaptation aux changements climatiques (SAE) sont des avantages offrant aux personnes une capacité sociale accrue pour réagir au changement, grâce aux écosystèmes qui s'adaptent aux changements et à la variabilité climatiques et atténuent ceux-ci¹⁶. 		<ul style="list-style-type: none"> • Restauration de l'habitat côtier dans les écosystèmes tels que les récifs coralliens, les forêts de mangroves et les marais pour protéger les communautés et les infrastructures contre les ondes de tempête. • Réalignement côtier • Agroforesterie pour accroître la résilience des cultures aux sécheresses ou aux précipitations excessives (diversification des cultures pour inclure des variétés tolérantes à la sécheresse). • Gestion intégrée des ressources en eau pour faire face aux jours de sécheresse consécutifs et à l'évolution des régimes pluviométriques. • Interventions de gestion durable des forêts pour stabiliser les pentes, prévenir les glissements de terrain et réguler le débit d'eau pour prévenir les crues soudaines. • Restauration des forêts terrestres (paysages dégradés ou déboisés) et des écosystèmes côtiers végétalisés (herbiers marins, marais marécageux et forêts de mangrove) pour la séquestration du carbone. • Protection des routes côtières : restauration des mangroves des marais salants pour la protection côtière ; dunes artificielles renforcées. • Protection des pentes en bordure de route : protection des forêts qui stabilisent les pentes ; utilisation de matelas à brosses pour la protection et la stabilisation des pentes ; terrasses en rondins pour la protection contre l'érosion des remblais de routes.

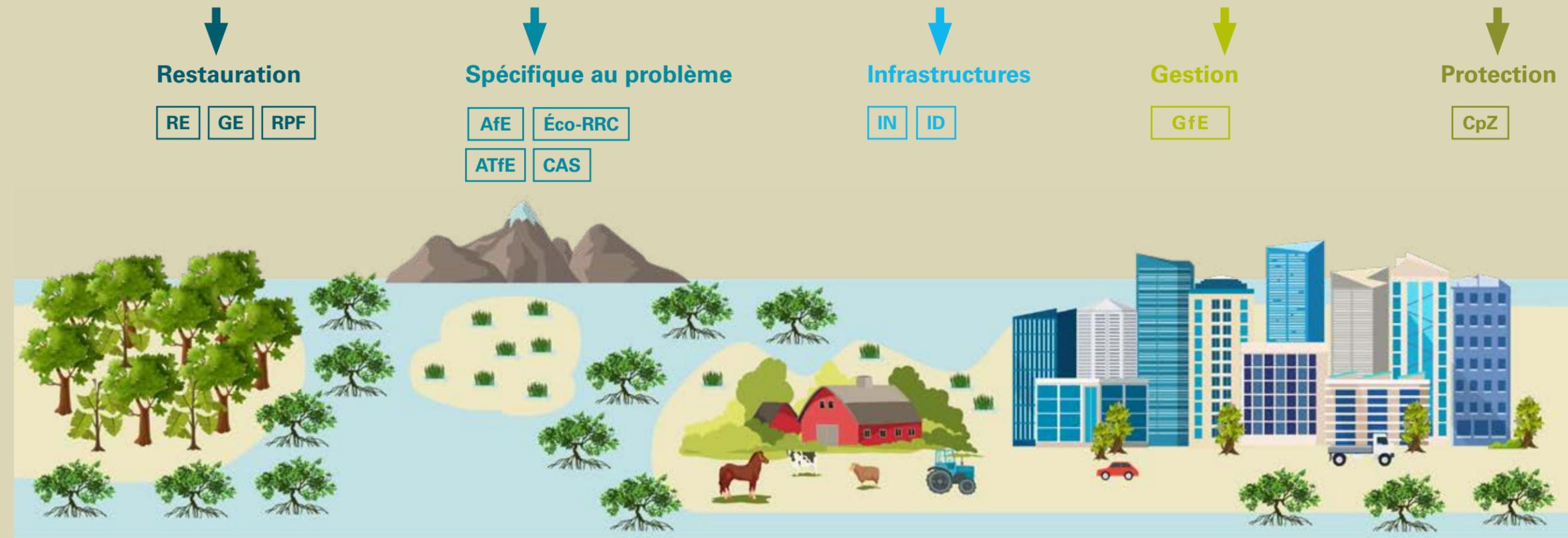
Catégorie d'approche du SFN	Description	Types		Exemples ¹²
<p>Infrastructure</p>	<p>Ces approches reposent sur les services produits par les écosystèmes, utilisant souvent des paysages naturels pour minimiser les dommages causés par les inondations, purifier et stocker l'eau et réduire le ruissellement des eaux pluviales urbaines.</p> <p>L'intégration d'infrastructures vertes dans la conception des routes et des autoroutes peut protéger contre le poids des ondes de tempête et des vagues et éviter l'érosion et la sédimentation. Certaines infrastructures peuvent s'adapter à l'élévation du niveau de la mer en accrétant les sédiments ou en migrant à l'intérieur des terres. Elles peuvent également offrir des avantages tels que des possibilités de loisirs, l'habitat nécessaire aux pêches commerciales et un environnement plus sain.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'infrastructure naturelle (NI) gère les terres naturelles, comme les forêts et les terres humides, ce qui permet de conserver ou d'améliorer les valeurs et les fonctions de l'écosystème et d'en assurer les avantages connexes¹⁷ • L'infrastructure verte (IG) est une zone naturelle et semi-naturelle avec d'autres caractéristiques environnementales conçues et gérées pour fournir un large éventail de services écosystémiques. IG reproduit ou imite les fonctions naturelles d'un paysage en intégrant des fonctions telles que le stockage, la rétention, l'infiltration, l'évaporation et la transpiration, ou l'absorption par les plantes, et sont créés par la conception et l'ingénierie humaines¹⁸ 		<ul style="list-style-type: none"> • Récifs d'huîtres pour l'atténuation des vagues. • Plantations de marais et de dunes pour prévenir l'érosion. • Volet de marée sur l'émissaire des eaux pluviales pour empêcher le refoulement. • Bioswales ou nages gazonnées : zones herbeuses sur le bord de la route qui transportent le drainage ; elles peuvent être conçues pour favoriser l'élimination des polluants et l'infiltration des ruissellements. • Jardins pluviaux : caractéristiques d'aménagement paysager plantées de végétation qui recueillent, infiltrent, évaporent et transpirent le ruissellement. • Milieux humides (naturels ou artificiels) pour le stockage de l'eau et le filtrage des polluants.

Catégorie d'approche du SFN	Description	Types	Exemples ¹²
Gestion	<p>Approche de gestion intégrée qui reconnaît l'éventail complet des interactions au sein d'un écosystème, y compris celles des humains, plutôt que de considérer les questions, les espèces ou les services écosystémiques séparément. Il s'agit d'une approche qui fonctionne dans tous les secteurs pour gérer les espèces et les habitats, les activités économiques, les utilisations conflictuelles et la durabilité des ressources, et qui permet de tenir compte des compromis sur les ressources qui aident à protéger et à maintenir des écosystèmes diversifiés et productifs et les services qu'ils fournissent.¹⁹</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La gestion écosystémique est une approche intégrée et scientifique de la gestion des ressources naturelles qui vise à maintenir la santé, la résilience et la diversité des écosystèmes tout en permettant l'utilisation durable par les humains des biens et services qu'ils fournissent.^{20,21} 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion intégrée des zones côtières. • Gestion intégrée des ressources en eau.
Protection	<p>Ces approches couvrent de nombreuses démarches de gestion ou de gouvernance qui sont appliquées à des régions géographiques spécifiques et qui ont des objectifs et/ou des résultats pertinents pour la conservation et l'utilisation durable. Il s'agit essentiellement d'approches de conservation par zone (AbC) telles que la gestion des aires protégées (AP) et d'autres mesures de conservation efficaces par zone (AMC), mais qui peuvent également s'appliquer aux zones situées au-delà des Zones Protégées (ZP) et des AMC ²².</p> <p>Ces approches doivent être évaluées au cas par cas. Leur gouvernance peut relever des gouvernements, des acteurs privés, des peuples autochtones et des communautés locales, ou de combinaisons d'acteurs.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Gestion des aires protégées (AP). • Autres mesures de conservation efficaces par zone (VMO).

Approche par écosystème

Figure 5: Représentation conceptuelle du terme général SFN pour cinq catégories d'approches fondées sur les écosystèmes⁴

Solutions fondées sur la nature



Problèmes sociétaux



3.2

Solutions fondées sur la nature et interventions hybrides

Il existe un large éventail de solutions appropriées potentielles dans tout le spectre, de l'infrastructure verte / basée sur la nature à l'infrastructure d'ingénierie matérielle / grise. La combinaison de ces solutions permet de puiser dans l'expertise et les solutions des deux extrémités de ce spectre.

Les interventions hybrides consistent en une combinaison d'interventions fondées sur la nature/vertes, dures/grises et non structurelles qui peuvent être utilisées pour protéger l'infrastructure, tout en offrant d'autres avantages en matière de services écosystémiques. Il arrive souvent que la combinaison de mesures écosystémiques (par exemple, restauration des forêts de mangroves, des plaines marémotrices des marais salants, des herbiers marins ou des récifs coralliens pour la protection côtière) avec des structures d'ingénierie dure (par exemple, brise-lames, revêtements, etc.) peut prolonger la durée de vie des infrastructures grises, tout en soutenant la pêche, en régulant la qualité de l'eau et en séquestrant le carbone. « La solution combinée peut donc être plus complète, robuste et rentable que l'une ou l'autre solution seule » (GGCP 2020).

Compte tenu de la vulnérabilité d'Haïti et de la gravité et de la fréquence des événements affectant le pays, la plupart des SNB applicables sont susceptibles d'être intégrées à des solutions d'infrastructure dure / grise dans des interventions hybrides.

De même, la mise en œuvre de solutions hybrides est très appropriée pour les écosystèmes



Éléments clés des interventions hybrides⁸⁴

1. Les écosystèmes sont conservés et/ou restaurés pour offrir des avantages sociaux, environnementaux et économiques mesurables;
2. Ces interventions comprennent l'intégration sélective d'une approche d'ingénierie conventionnelle; et
3. Ils bénéficient d'un avantage en matière de résilience climatique et/ou de réduction des risques.

de montagne d'Haïti (par exemple à des fins de stabilisation des pentes), où les pentes abruptes et l'exposition élevée aux risques d'érosion et de glissement de terrain rendent les interventions de revégétalisation souvent insuffisantes, et donc d'autres stratégies doivent être entreprises en plus.

Le type de solution à choisir dépend généralement d'une partie ou de la totalité des facteurs suivants : i) l'objectif du projet, ii) les considérations relatives à l'utilisation des terres dans l'environnement environnant, iii) les écosystèmes indigènes au site, iv) les coûts du projet (y compris la surveillance, l'entretien et la gestion adaptative), v) le rendement souhaité, et vi) les politiques et règlements locaux.

Le tableau 3 ci-dessous énumère les forces et les faiblesses des interventions dures, axées sur la nature et hybrides.



 **Tableau 3:** Comparaison entre les interventions dures, les interventions axées sur la nature et les interventions hybrides⁶³

Options d'intervention	Forces		Faiblesses
Interventions difficiles (comme les digues, les brise-lames)	<ul style="list-style-type: none"> • Il y a beaucoup d'expérience dans la réalisation de ces interventions. • L'expertise et les conseils existent déjà. • Fournira une protection dès qu'ils sont construits. • Compréhension détaillée des normes de conception et de la protection que l'intervention offrira. 		<ul style="list-style-type: none"> • Les nouvelles structures requises ou les structures doivent être modifiées pour s'adapter aux changements environnementaux. • A une vie résiduelle qui s'affaiblit avec le temps. • Peut avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes côtiers et entraîner une réduction des services écosystémiques fournis par la zone côtière. • En général, ont des avantages plus larges limités en dehors de la protection contre les tempêtes / l'érosion.
Des solutions basées sur la nature	<ul style="list-style-type: none"> • Peut offrir un large éventail d'avantages ainsi que la protection des rives, y compris l'habitat de pêche, la qualité de l'eau, la séquestration du carbone, l'amélioration du tourisme et les loisirs. • Si les écosystèmes sont restaurés ou replantés, ils deviennent souvent plus forts et plus résilients au fil du temps. • Avoir le potentiel de s'auto-récupérer ou de réparer après des tempêtes de petite et de grande taille. • A le potentiel de s'adapter naturellement et de suivre le rythme des changements environnementaux et de l'élévation du niveau de la mer. • Peut être moins cher par rapport aux interventions difficiles. • A le potentiel d'engager la communauté locale et les parties prenantes dans la protection, la restauration et l'amélioration des écosystèmes côtiers qui soutiennent leurs moyens de subsistance. À long terme, cela renforce la capacité d'adaptation et la résilience des collectivités et des écosystèmes côtiers. 		<ul style="list-style-type: none"> • Il y a moins d'orientations et de pratiques exemplaires disponibles • Difficile de prédire le niveau de protection qui sera fourni • Peut fournir différents niveaux de protection géographiquement • L'écosystème peut prendre plus de temps à s'établir. • En général, il faut plus d'espace pour la mise en œuvre que pour les interventions difficiles. • Peut subir plus de dommages causés par les petites tempêtes en cours que par les interventions axées sur la nature. • Données limitées pour permettre la quantification des avantages et la comparaison des ratios avantages-coûts. • Il peut être plus difficile d'obtenir des approbations de planification pour ces projets.
Options d'intervention hybride	<ul style="list-style-type: none"> • Capitalise sur les forces des solutions dures et basées sur la nature. • Offre des possibilités d'innovation. • Peut être utilisé pour fournir des avantages plus larges, mais lorsqu'il y a peu d'espace ou qu'il est nécessaire de bénéficier d'une protection immédiate. • A le potentiel d'engager la communauté locale et les parties prenantes dans la protection, la restauration et l'amélioration des écosystèmes côtiers qui soutiennent leurs moyens de subsistance. À long terme, cela renforce la capacité d'adaptation et la résilience des collectivités et des écosystèmes côtiers. 		<ul style="list-style-type: none"> • N'offre pas autant d'avantages plus larges qu'une intervention fondée sur la nature. • Nécessite plus de recherche pour des exemples de pratiques exemplaires. • Peut encore avoir un impact négatif sur l'environnement.

Des exemples d'interventions hybrides visant à protéger les actifs de transport qui combinent des solutions dures et naturelles typiques sont présentés dans le tableau 4 et schématisés à la figure 7, avec une liste d'exemples de stratégies de gestion potentielles (NBS/vert, ingénierie dure/gris) applicables aux actifs d'infrastructure routière dans

le contexte des routes de montagne et des zones côtières. Des exemples détaillés se trouvent à la section 6 du catalogue de la fiche d'information. Les deux sites pilotes priorités dans le cadre de ce projet présentent les types de solutions hybrides adaptées au contexte haïtien (voir la section 8. pour une étude de cas).

 **Tableau 4:** Exemples d'interventions hybrides en faveur des zones de montagne et des zones côtières

Zones de montagne			Zones côtières			
Intervention hybride		Objectif	Intervention hybride		Objectif	
NBS/Vert	Gris		NBS/Vert	Gris		
Drainage des pentes et revégétalisation (p. ex. restauration des prairies et/ou des forêts)	Combiné avec des paniers Gabion ou des barrages de contrôle	Protection des pentes pour la prévention de l'érosion et des glissements de terrain; gérer le ruissellement	Restauration des forêts de mangroves, des marais salants ou des plaines intertidales	Combiné avec des revêtements de roche ou des digues	Protection contre l'érosion côtière et les inondations côtières	
Plantation d'espèces locales à racines profondes	Avec un élément structuré tel que des barrages et des clôtures en bambou ou des structures murales	Stabilisation des routes, protection contre l'érosion et les inondations; génération de revenus par la vente des graminées plantées (co-bénéfice)	Restauration des dunes et alimentation des plages	Combiné avec des brise-lames détachés (extracôtiers) ou un système groyns	Protection contre l'érosion côtière et les inondations côtières; faciliter l'accumulation de sédiments	
Pente supérieure : système de drainage horizontal, vertical et complémentaire, modification de la pente pour que la végétation puisse pousser;	Complété par un système de barrières de protection le long de la route	Protection des pentes pour la prévention de l'érosion et des glissements de terrain et l'atténuation contre l'impact des éboulements	Restauration des forêts de marais et de mangroves Restauration des récifs coralliens	Combiné avec l'élévation de la route Construction de brise-lames	Protection des routes et des ponts contre les chocs des vagues	
Pente inférieur : remblai compacté formant des terrasses vertes,	Protégé par géotextile	Protection des pentes pour le contrôle de l'érosion et l'affouillement de la base des routes				

Figure 6: Exemple théorique de NBS pour la protection des routes en Haïti (développé par les auteurs).

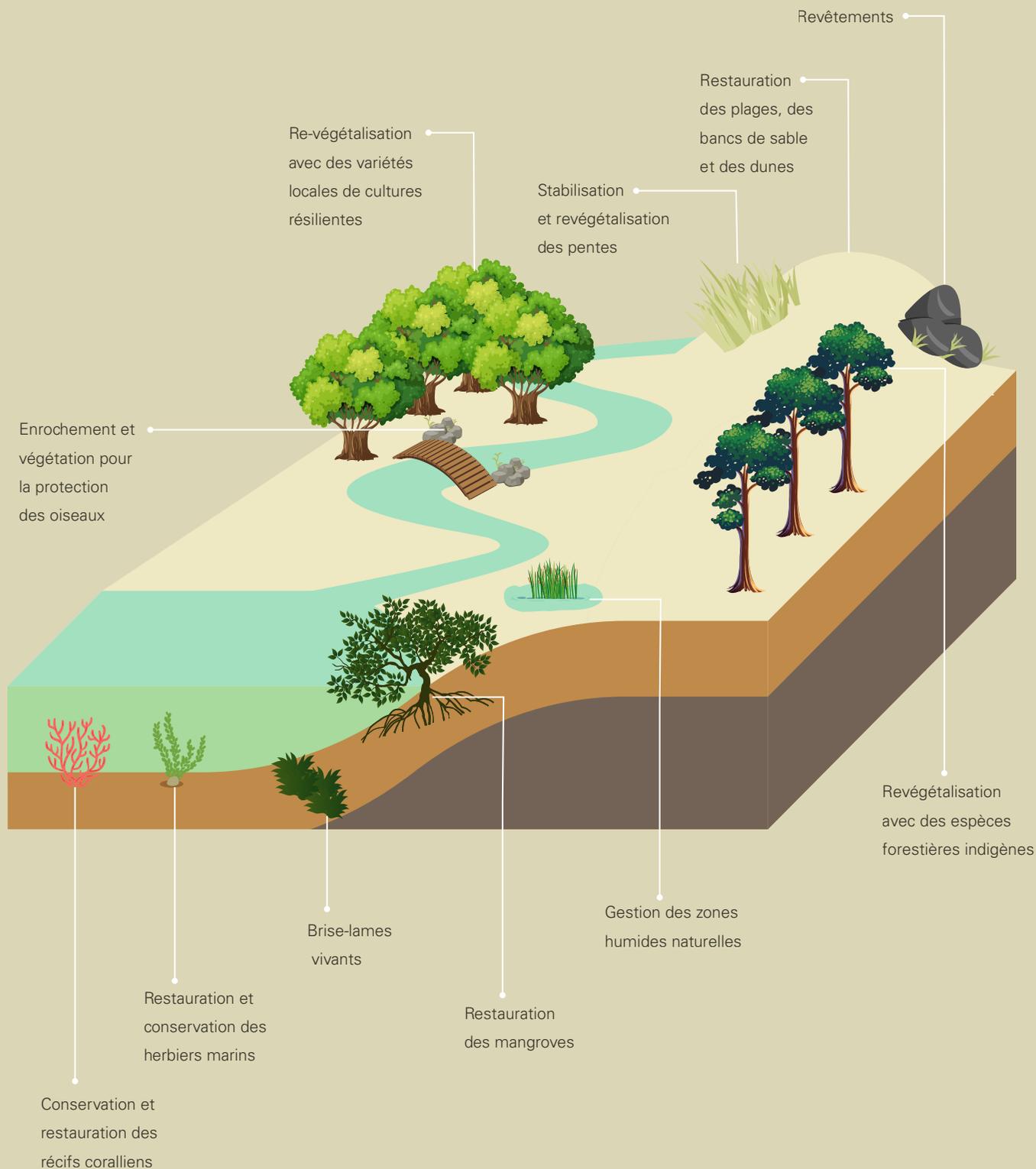




Figure 7: Route côtière en gravier fortement exposée à l'érosion côtière et aux inondations, où la berme végétalisée offre une protection partielle.

3.3

Principes relatifs à la mise en œuvre de solution fondées sur la nature

Les SFN constituent une approche récemment adoptée, mais qui a déjà donné des résultats significatifs en matière de réduction des risques climatiques et de contribution à la réalisation des objectifs de développement durable. Les expériences

ont permis de tirer des enseignements et de définir des principes directeurs. Cinq principes de base peuvent guider le développement futur de projets fondés sur la nature durant la conception, la mise en œuvre et l'entretien (voir tableau 3 ci-après).

 **Tableau 5 :** Résumé des cinq principes clés concernant les SFN¹⁴

Principe	Description
<p>Principe 1 :</p> <p>Perspective à l'échelle du système</p>	<p>La recherche de solutions fondées sur la nature pour l'adaptation au changement climatique et la réduction des risques de catastrophe doit commencer par une analyse des conditions socioéconomiques, environnementales et institutionnelles locales à l'échelle du système. Il faut tenir compte de l'échelle spatiale, de l'échelle de temps et du contexte socioéconomique et institutionnel local.</p>
<p>Principe 2 :</p> <p>Évaluation des risques et des avantages de l'ensemble des solutions</p>	<p>Une évaluation approfondie des risques et des avantages de toutes les mesures possibles doit être réalisée et couvrir les avantages de la réduction des risques ainsi que les effets sociaux et environnementaux.</p>
<p>Principe 3 :</p> <p>Évaluation standardisée des performances</p>	<p>Les solutions de gestion des risques fondées sur la nature doivent être testées, conçues et évaluées à l'aide de critères quantitatifs.</p>
<p>Principe 4 :</p> <p>Intégration dans la conservation et la restauration des écosystèmes</p>	<p>Les solutions de gestion des risques fondées sur la nature doivent utiliser les écosystèmes existants, les espèces indigènes et se conformer aux principes de base de la restauration et de la conservation écologiques.</p>
<p>Principe 5 :</p> <p>Gestion adaptative</p>	<p>Les solutions de gestion des risques fondées sur la nature doivent faire l'objet d'une gestion adaptative basée sur un suivi à long terme, afin de garantir des performances durables.</p>



3.4

Rôle des SFN dans la protection des infrastructures routières contre les risques climatiques

Les NBS offrent une opportunité majeure d'innovation avec la possibilité d'apporter de multiples avantages durables et tangibles à un large éventail de défis sociétaux dans des contextes environnementaux, socio-économiques et culturels très divers (par exemple, les bassins fluviaux - reboisement et digues vertes ; les zones côtières - mangroves et zones humides ; et les villes - parcs urbains). Ces avantages dépendent du projet et du contexte.

Par rapport aux solutions d'infrastructures purement dures/grises, les NBS offrent souvent des avantages en termes de coût et d'efficacité des ressources et, lorsqu'elles sont associées à ces mesures structurelles, elles réduisent souvent les coûts d'exploitation et d'entretien des infrastructures dures et augmentent la durée de vie de ces structures, ce qui se traduit par une alternative plus durable qu'une infrastructure purement grise. En outre, la conservation et/ou la restauration des écosystèmes offrent des avantages connexes essentiels aux projets d'infrastructure, tels que le potentiel de stockage du carbone, la protection de la biodiversité, les loisirs et le tourisme ou le maintien de la fertilité des sols.

Dans le contexte de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des risques hydrométéorologiques et du changement climatique, les NBS représentent une approche écologique attrayante pour la réduction des risques de catastrophe et l'adaptation au changement climatique, tout en renforçant la résilience des écosystèmes naturels et des établissements humains qui les côtoient. Ils peuvent également contribuer à améliorer la capacité d'adaptation d'une communauté en offrant une formation aux organisations communautaires et un soutien supplémentaire aux moyens de subsistance.

Les SFN présentent de multiples avantages en termes de protection des infrastructures routières contre les risques climatiques, notamment :

A. Garantie de la durabilité des infrastructures

Les SFN peuvent contribuer à minimiser les déplacements de sédiments et donc à protéger les infrastructures et à prolonger leur durée de vie, tout en limitant les coûts d'exploitation et d'entretien. En aval, les charges sédimentaires entraînent des coûts d'exploitation pour le désenvasement d'infrastructures telles que les canaux d'irrigation, les barrages hydroélectriques et les infrastructures routières. Les bandes filtrantes végétales et le reboisement sont deux approches de SFN utilisées pour résoudre ce problème.

B. Protection contre les risques

Les SFN offrent un fort potentiel de protection des infrastructures contre les risques tels que les inondations, les glissements de terrain, les tempêtes et les pentes perturbées. Les SFN peuvent réduire les impacts des glissements de terrain en stabilisant rapidement les pentes dégradées. Cela peut contribuer à atténuer la sédimentation continue des cours d'eau, à prévenir d'autres glissements de terrain et coulées de boue, et à sécuriser les infrastructures routières.

En outre, les SFN réduisent les inondations en augmentant l'infiltration, l'évapotranspiration et le stockage de l'eau là où les précipitations tombent. L'augmentation de l'infiltration permet également de reconstituer les réserves d'eau sou-

terraines et peut être bénéfique pour les habitats aquatiques. Les SFN offrent un autre avantage environnemental en matière de gestion des eaux pluviales : elles améliorent la qualité de l'eau en réduisant le ruissellement et en permettant au sol et à la végétation de traiter ces eaux. La réduction du ruissellement peut atténuer l'érosion des sols, source de problèmes en amont et en aval.

C. Rapport coût-efficacité

Les NBS sont souvent égaux ou inférieurs au coût initial des solutions d'ingénierie traditionnelles (par exemple, le blindage des rivages). En outre, par rapport aux mesures conventionnelles d'ingénierie dure/d'infrastructure grise, qui ne sont pas en mesure de s'adapter et de compenser les divers effets du changement climatique (par exemple, l'élévation du niveau de la mer), un avantage important de l'ÉNB est que certains peuvent naturellement s'adapter à certaines parties de ces effets. Les caractéristiques structurelles traditionnelles doivent être régulièrement entretenues, après l'impact d'une catastrophe et doivent être remplacées ou modernisées pour atteindre des objectifs similaires. Lorsqu'il est combiné avec une infrastructure d'ingénierie matérielle, NBS réduit souvent les coûts d'exploitation et d'entretien de cette infrastructure et augmente la durée de vie de ces structures, ce qui se traduit par une alternative plus durable et plus rentable, par rapport à une infrastructure purement grise. De plus amples détails sur l'évaluation économique de l'ÉNB sont fournis à la section 4. As qu'elle est largement reconnue et qu'elle a déjà été démontrée, en plus d'améliorer la résilience aux dangers naturels et

aux effets des changements climatiques, d'assurer la durabilité de l'infrastructure et d'offrir des avantages en termes de rentabilité, l'ÉNB facilite simultanément la fonction de l'écosystème naturel, avec des avantages tels que l'amélioration de la qualité de l'eau, de l'habitat et des pêches. Plus précisément, l'application de l'ÉNB aux interventions en matière d'infrastructure routière procure un certain nombre d'avantages environnementaux et socioéconomiques, notamment :

D. Améliorer la qualité de l'eau et garantir l'accès à l'eau pour les communautés voisines

En réduisant le ruissellement et en augmentant l'infiltration, les stratégies de l'ÉNB aident à minimiser la pollution de l'eau. Cela améliore la qualité de l'eau et peut réduire les coûts de traitement de l'eau de 25 pour cent ou plus. Planter des plantes indigènes peut aider à réduire l'utilisation d'engrais chimiques, améliorant ainsi la qualité de l'eau. Cela procure des avantages pour la santé publique, car les gens sont moins exposés à l'eau polluée et aux contaminants de l'eau potable.

E. Contribuer à la création d'emplois et au soutien des moyens de subsistance locaux

En plus de la stabilisation des routes et de la protection contre l'érosion et les inondations; la remise en état des pentes avec des espèces indigènes profondément enracinées peut contribuer à la génération de revenus grâce à la vente des herbes plantées. La restauration des forêts de mangrove contribuera à la restauration de l'habitat.





4. ÉCONOMIE DES SFN POUR L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE

- 4.1 Outils de sélection de stratégies de réduction des risques et d'adaptation
- 4.2 Évaluation des bénéfices et des co-bénéfices des SFN
- 4.3 Évaluation des coûts des SFN
- 4.4 Facteurs clés de résumé à considérer lors de l'évaluation des avantages et des coûts des SFN

L'utilisation de protections conventionnelles pour les infrastructures routières, telles que les digues, les revêtements et les brise-lames dans les zones côtières, a souvent entraîné une altération significative de la fonction de nombreux rivages dans le monde en raison de l'interaction de ces structures de protection avec des processus naturels (par exemple, réduction du transport, perte d'habitats de zones humides et de plages, etc.). Plus récemment, les projets d'infrastructure routière combinent souvent des SFN avec des structures ouvragées dans des mesures hybrides (voir section 3.2.).

Choisir des SFN plutôt qu'une infrastructure dure nécessite d'être à l'aise avec une gamme d'efficacité et la nature dynamique des SFN, et dépend de plusieurs facteurs, y compris leur performance dans le temps et une justification économique, au moins en termes de réduction des risques sur la durée de vie du projet¹⁵.

Au cours des deux dernières décennies, les SFN ont été de plus en plus utilisées à des fins d'adaptation et/ou de réduction des risques de catastrophe dans le monde entier, abordant en particulier les défis liés au changement climatique et à la pauvreté dans les pays pauvres où la dépendance vis-à-vis des ressources naturelles et des moyens de subsistance est élevée. Ces expériences présentent de plus en plus de preuves que les SFN fournissent souvent des solutions peu coûteuses à divers défis liés au changement climatique. De même, il est largement reconnu que les SFN offrent une diversité d'autres gains (voir section 3.4), ce qui les placeraient souvent dans une position avantageuse par rapport à d'autres mesures structurelles dans le processus de hiérarchisation des alternatives.

Il existe actuellement très peu de littérature sur l'utilisation des SFN pour améliorer la résilience des infrastructures routières et le potentiel d'utilisation des SFN pour leur résilience. Il existe quelques exemples où les SFN ont été utilisées pour protéger les infrastructures routières côtières¹⁶. Certes, il peut exister de nombreux exemples répartis dans toutes les régions, où les routes et les ponts bénéficient d'une protection ou d'une résilience supplémentaire offerte par les systèmes naturels, qui pourraient être documentés. D'autres routes et ponts peuvent être des candidats potentiels pour l'application des SFN. Cependant, une meilleure documentation et un meilleur suivi des applications SFN pour répondre à un besoin lié au transport sont nécessaires. La mesure dans laquelle les SFN peuvent être utilisées pour protéger les infrastructures routières vulnérables en Haïti (ainsi que dans de nombreux autres pays) est actuellement inconnue et représente un manque de connaissances à l'heure actuelle. Une méthodologie appropriée pour combler ce manque, qui prend en considération tous les coûts et avantages associés, est donc nécessaire.

La présente section vise à fournir un bref résumé des principaux aspects économiques qui sous-tendent la caractérisation des SFN (sur la base des connaissances existantes) à prendre en compte l'évaluation et la hiérarchisation des stratégies de réduction des risques de catastrophe et d'adaptation au changement climatique, dans le but d'encadrer la conversation sur l'utilisation des SFN pour renforcer la résilience des infrastructures routières.

Les commentaires des professionnels du transport lors des échanges régionaux entre pairs ont souligné l'importance de pouvoir communiquer aux parties prenantes que **les solutions basées sur la nature offrent un certain potentiel de réduction des risques, offrent des multiples avantages et ont des coûts raisonnables**²²



4.1

Outils de sélection de stratégies de réduction des risques et d'adaptation

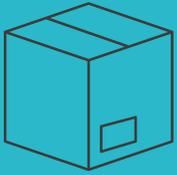
Traditionnellement, la sélection des interventions de réduction des risques de catastrophe était basée sur des analyses coûts-avantages, où les avantages étaient estimés en termes d'impacts réduits ou de risques évités. Bien que ces analyses continuent d'être un outil important pour évaluer l'efficacité des interventions de réduction des risques de catastrophe, l'accent passant des mesures concrètes aux SFN, d'autres outils tels que l'analyse coût-efficacité, les analyses multicritères, l'analyse et les approches de prise de décision solides méritent plus d'attention, afin de garantir que les investissements réalisés pour réduire les risques de catastrophe ne soient pas seulement rentables, mais que leurs avantages profitent à tous les membres de la population, y compris les pauvres et les vulnérables, qui sont souvent touchés de manière disproportionnée.

Il existe un manque de synthèse scientifique et plusieurs lacunes dans les connaissances qui rendent difficile la compréhension globale de l'efficacité des mesures SFN dans des contextes locaux spécifiques, ou ne permettent pas de quantifier de manière appropriée les multiples co-bénéfices socioécono-

miques et écologiques fournis par les SFN. Ceci empêche souvent les SFN d'être largement et systématiquement mises en œuvre et suffisamment intégrées dans les processus politiques nationaux et internationaux. Pour continuer à éclairer les politiques et les pratiques, et améliorer l'adaptation, des travaux supplémentaires sont nécessaires.

En général, tous les outils pris en compte pour l'évaluation économique des stratégies de réduction des risques nécessiteront une évaluation des avantages et des coûts de chacune des stratégies qui peuvent être potentiellement utilisées pour atteindre l'objectif d'adaptation au changement climatique ou de réduction des risques. L'encadré 4.1 présente les étapes types à suivre dans une analyse économique des SFN.

En termes généraux, pour qu'une stratégie de réduction des risques ou d'adaptation au changement climatique soit prioritaire par rapport aux autres, et donc sélectionnée, les avantages globaux (quantitatifs et qualitatifs) doivent être « plus importants » que les coûts globaux. Un résumé des aspects liés à l'estimation des avantages et des coûts des SFN est présenté dans les sous-sections suivantes.



Encadré 4.1.

Étapes typiques à inclure dans une analyse économique des SFN

1. Estimer les avantages et les co-avantages de la stratégie SFN :

- Évaluer les principaux avantages en estimant la différence entre les dommages et les pertes avec et sans SNB sur une longue période de temps ;
- Déterminer tous les avantages supplémentaires (p. ex. habitat, espaces ouverts, esthétique, augmentation de la valeur des propriétés, amélioration de la qualité de l'eau, etc.) et estimer leur valeur ;

2. Estimer les coûts unitaires du SNB et les coûts globaux de la stratégie :

- Rechercher et obtenir des renseignements pertinents et à jour sur les coûts de l'ÉNB (p. ex. à partir de projets antérieurs); réseauter avec d'autres collectivités pour obtenir de l'information sur les coûts;
- Estimer les coûts de la stratégie globale de l'ÉNB sur l'ensemble du cycle de vie de l'ÉNB (p. ex. 20 à 50 ans) en additionnant tous les coûts connexes; tenir compte des coûts suivants : i) les coûts de planification, de conception et de délivrance de permis, ii) les coûts des terrains nécessaires à la mise en œuvre de l'ÉNB, y compris les coûts d'opportunité, iii) les coûts en capital (coûts de création, de protection ou de restauration), et iv) les coûts d'exploitation, d'entretien et de surveillance;

3. Estimer l'annualisation des coûts et des avantages sur une période donnée :

- Actualiser les avantages et les coûts calculés pour obtenir les valeurs actualisées, afin de faire une comparaison équitable des coûts (payés dans les premières années d'un projet) et des avantages (réalisés année par année sur un certain nombre de décennies);
- Répartir la valeur actualisée entre les années d'analyse afin de produire l'avantage ou le coût moyen pour chaque année (c.-à-d. avantage annualisé ou coût annualisé).
- Estimer les avantages nets annualisés en soustrayant les coûts annualisés des avantages annualisés;

(Adapté à partir de³⁰)



4.2

Évaluation des bénéfices et des co-bénéfices des SFN

Une première étape de l'analyse économique est l'estimation du bénéfice total d'une stratégie d'adaptation au changement climatique ou de réduction des risques. Elle devrait idéalement être composée de la somme de tous les bénéfices et co-bénéfices. La distinction entre bénéfices et co-bénéfices des alternatives du projet (par exemple SFN) dépend d'abord de l'objectif principal du projet, et d'autre part d'autres aspects tels que les priorités stratégiques de l'agence développant le projet et celles des communautés situées à proximité ou adjacentes à la zone du projet.

Le présent guide se concentre sur les interventions qui peuvent renforcer la résilience des infrastructures routières face à l'impact des aléas naturels et du changement climatique. Par conséquent, les avantages à considérer sont ceux liés à l'efficacité de l'intervention pour réduire le risque d'aléas naturels et/ou améliorer l'adaptation aux effets du changement climatique (par exemple la protection des services fournis par les SFN estimée comme des dommages évités grâce à la réduction des inondations) ; tandis que les co-bénéfices sont tout autre bénéfice pertinent qui résulte de la mise en œuvre de

“En moyenne, les habitants côtiers réduisent la hauteur des vagues entre 35% et 71%. Les récifs coralliens réduisent la hauteur des vagues de 70%, les marais salants de 72%, les mangroves de 31% et les herbiers marins/varech de 36%, les récifs coralliens ayant le plus grand potentiel de protection côtière (très efficaces pour réduire la hauteur des vagues et sont également exposés à des vagues plus hautes et plus puissantes), suivis des marais salants, qui sont presque aussi efficaces en termes de réduction des vagues, mais se produisent dans des environnements plus abrités. Les mangroves et les herbiers marins et les varechs sont environ deux fois moins efficaces, les mangroves se trouvant dans les environnements les plus abrités.”¹³

l'intervention spécifique (par exemple d'autres services écosystémiques fournis par les SFN).

L'évaluation des avantages de la réduction des risques et de l'adaptation au changement climatique de divers SFN a fait l'objet de nombreuses initiatives de recherche, en particulier au cours de la dernière décennie. Aujourd'hui, il existe un consensus raisonnable sur les services de protection côtière (réduction des risques d'inondation et d'érosion) fournis par les habitats côtiers, qui peut souvent réduire les coûts des SFN côtiers par rapport aux structures côtières alternatives (par exemple, les brise-lames submergés) pour le même niveau de protection (avantages similaires en matière de réduction des risques)³⁰. De plus, il a été rapporté que ces SFN étaient capables de suivre le rythme du SLR sur des côtes abritées. Une étude récente menée sur les avantages de la réduction des risques d'inondation des récifs coralliens sur 3 100 km de côtes américaines estime que les avantages de la réduction des risques d'aléas des récifs coralliens américains dépassent 1,8 milliard de dollars des États-Unis (É.U) par an³¹.

Pour les SFN situées dans des environnements côtiers, il existe cependant une lacune technique clé sur la relation entre les avantages des SFN et le temps³. D'une part, il existe peu de littérature décrivant la capacité des SFN à réduire les risques de tempête en fonction de la durée de celle-ci. D'autre part, la longue fiabilité et les performances à terme des SFN sont, comme toutes les infrastructures côtières, soumises aux effets de l'élévation du niveau de la mer et, par conséquent, ces SFN continueront à offrir des avantages équivalents en matière de réduction des risques et dépendront de l'ampleur des taux futurs d'élévation du niveau de la mer.

Comme indiqué précédemment, les SFN offrent de nombreux avantages supplémentaires ou co-bénéfices, sous la forme d'amélioration de la qualité de l'eau, de la gestion





des sédiments, de la production de ressources, de la séquestration du carbone, de la création d'emplois et des services touristiques et récréatifs, pour n'en nommer que quelques-uns. Cependant, alors que la réduction des risques de grande envergure et potentiellement durable et les avantages liés à l'adaptation des SFN, des SFN côtières, ont été quantifiés en termes de valeur monétaire, de nombreux co-bénéfices socioéconomiques et écologiques fournis par les SFN sont non monétaires, et donc non pris en compte dans l'ACA traditionnelle. La quantification des services écosystémiques totaux des SFN est essentielle pour démontrer la position avantageuse de celles-ci par rapport aux mesures d'ingénierie traditionnelles ; cependant, les considérations ci-après doivent être soulignées :

- Bien que les co-bénéfices puissent être difficiles à monétiser, il existe actuellement un corpus croissant de littérature liée à la quantification des services écosystémiques^{37,21,22} bien que peu d'études unifiées s'appuient sur de vastes ensembles de données et de caractéristiques. Pour tenter de valoriser les services écosystémiques, la méthode du transfert des bénéfices peut être utilisée. Cette méthode utilise des valeurs économiques pour les services écosystémiques dans un endroit donné pour se rapprocher de la valeur dans un endroit différent.
- Il existe également un manque d'informations concernant le rôle des services écosystémiques et la meilleure façon de les exploiter dans le cadre de la planification des transports ou de l'atténuation des impacts.

Le tableau 4 ci-après fournit une liste (non exhaustive) des avantages de réduction des risques fournis par certaines SFN, qui peuvent être intégrés dans le cadre de projets d'infrastructure

routière dans les environnements côtiers et intérieurs/montagneux, ainsi qu'une liste des co-bénéfices socioéconomiques et écologiques de ces derniers. Tous ces avantages devraient donc être pleinement évalués dans le cadre de la hiérarchisation des stratégies appropriées de réduction des risques pour l'infrastructure routière dans le cadre de l'étape 3 en particulier. Étape 3.2 (voir section 5) ; la méthodologie d'évaluation économique devrait idéalement considérer les bénéfices annuels liés à tous ces aspects sur une longue durée.

Il convient de noter quelques considérations concernant les avantages associés aux SFN :

- Le tableau 4 ci-après indique les avantages de chacune des SFN individuelles. Cependant, il convient de noter que selon des études récentes, il est démontré que la combinaison de SFN produit des avantages au-delà de ceux obtenus individuellement. Par exemple le récif d'huîtres en combinaison avec la végétation des marais a eu un plus grand impact sur la réduction de la hauteur des vagues que chacune de ces mesures prises individuellement, et la combinaison de coraux, d'herbes marines et de mangroves a rendu plus de services de protection que n'importe quel habitat individuel ou combinaison de deux habitats³⁷.
- De plus, étant donné que certaines SFN semblent plus efficaces pour réduire le risque de quelques dangers lors d'événements d'intensité faible à modérée, la combinaison de SFN avec des structures ouvragées traditionnelles peut remédier à certaines de ces lacunes et traiter les facteurs qui ont pu contribuer à leur dégradation au fil du temps, tout en améliorant simultanément la résilience de l'infrastructure et de l'écosystème, produisant ainsi les plus grands avantages au fil du temps.





Tableau 4: Bénéfices de la réduction des risques et de l'adaptation au changement climatique et co-bénéfices socioéconomiques et écologiques des SFN

Type de SFN	Avantages pour la RRC et l'AAC		Forces faiblesses	Co-avantages
Zones côtières				
Restauration des récifs coralliens et des récifs d'huîtres	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation côtière => atténuation des vagues par transmission, déferlement et dissipation d'énergie, protégeant ainsi de l'impact des vagues et des ondes de tempête, en particulier dans des conditions d'événements extrêmes ; protection contre les tsunamis et augmentation du niveau de la mer • Réduction du risque d'érosion côtière => protection contre les vagues et les marées ; en raison de la réduction de la hauteur des vagues, les récifs peuvent également modifier les modèles d'érosion et de dépôt des sédiments 		Les récifs d'huîtres sont plus efficaces dans les environnements à faible énergie de vagues.	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation/restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Production de ressources • Tourisme et loisirs
Restauration de la forêt de mangrove	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des risques d'inondations côtières et fluviales => atténuation des vagues et réduction du run-up des vagues et des ondes de tempête, ainsi que réduction du run-up des tsunamis, réduisant ainsi les inondations côtières et fluviales • Risque d'érosion côtière réduction ; • Atténuation du SLR ; 		Les avantages des mangroves changent à mesure que les niveaux d'eau augmentent. Lorsque les niveaux d'eau se trouvent dans la structure racinaire, les mangroves sont efficaces pour réduire l'action des vagues et le run-up des vagues, mais à mesure que les niveaux d'eau augmentent, les mangroves sont plus efficaces pour réduire les ondes de tempête qu'elles ne le sont pour réduire l'action des vagues.	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et gestion des sédiments • Atténuation de l'intrusion du sel • Conservation/restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Stockage du carbone et séquestration • Production de ressources • Tourisme et loisirs
Restauration des zones humides côtières (marais salants)	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation côtière et fluviale => atténuation de la hauteur des vagues et de la vitesse de l'eau, et réduction des niveaux d'inondation dans le marais, résultant en une protection accrue contre les vagues et les tempêtes surtensions; • Réduction du risque d'érosion côtière => minimisation de la perte nette de sédiments et stabilisation accrue des sédiments ; 		La capacité de la végétation des marais à fournir ces avantages change avec le niveau d'eau. Lorsque les marais sont complètement submergés et que les niveaux d'eau dépassent le sommet des plantes des marais, ils améliorent la réduction de la profondeur des crues mais sont moins efficaces pour atténuer les vagues.	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et gestion des sédiments => filtres naturels qui éliminent les polluants pour la purification de l'eau ; nutriment des sédiments de stockage • Conservation/restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Stockage du carbone et séquestration • Production de ressources
Nourriture de plage et restauration de dunes / revégétalisation Et plages de roche (stabilisation des plages le long des rivages abrités)	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation côtière => protection contre l'impact des vagues et des ondes de tempête, en particulier dans des conditions d'événements extrêmes ; protection contre les tsunamis et augmentation du niveau de la mer • Réduction du risque d'érosion côtière => protection contre les vents forts, vagues et marées ; rétention de sable et stabilisation par la végétation • Réduction du vent et des embruns salés sur les infrastructures adjacente 		Les plages plus larges, des bermes plus élevées et des plages aux volumes importants offrent une meilleure protection aux infrastructures des hautes terres.	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et gestion des sédiments => infiltration d'eau, nettoyage et stockage ; protection des ressources intérieures contre l'intrusion d'eau salée • Conservation/restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Tourisme et loisirs

Type de SFN	Avantages pour la RRC et l'AAC	Forces faiblesses	Co-avantages
Zones intérieures / montagnes			
Restauration des plaines inondables de la rivière Modification de la digue/ enlèvement le long des rivières Réaménagement du cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation fluviale => débit d'eau de pointe et réduction du risque d'inondation en aval grâce à l'augmentation de la capacité d'inondation : stockage d'eau et libération lente d'eau et de sédiments ; facilite la dynamique fluviale saisonnière 		<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et de la gestion des sédiments => Réduction de la vitesse d'écoulement en surface et de la gestion des sédiments ; réduction de la pollution de l'environnement, augmentation du stockage des sédiments et réduction de l'érosion des sols • Restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Séquestration du carbone • Production de ressources • Tourisme et loisirs
Conservation des forêts Restauration des forêts	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des risques d'inondations fluviales et pluviales => Interception et infiltration des eaux pluviales, réduction de l'impact sur les berges le long des lignes de drainage, réduction des débits de pointe, et réduction de l'impact des inondations fluviales en aval • Réduction des risques d'érosion des sols et de glissements de terrain => Stabilisation des sols et réduction de l'érosion dans les zones riveraines et escarpées, pentes • Réduction de l'affaissement du sol 		<ul style="list-style-type: none"> • Pollution de l'air et du sol, et atténuation des sédiments • Restauration de l'habitat et amélioration de la biodiversité • Séquestration du carbone
Terrassement	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation pluviale => Réduction du ruissellement et contrôle de l'érosion des sols 		<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la capacité de stockage des eaux pluviales • Amélioration de la qualité des sols et de la gestion de l'eau (réduction de la pollution des nappes phréatiques et des rivières) et des sédiments • Création/restauration d'habitats et valorisation de la biodiversité • Ressources de production • Tourisme et loisirs
Zones de bio-rétention : Bassins de rétention, Tranchées d'infiltration, Bassins de bio-rétention	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation pluviale => Augmenter les capacités de collecte, d'infiltration et de stockage des eaux pluviales, entraînant une réduction des débits de pointe et des crues pluviales • Augmentation de la stabilisation des sols et prévention de leur affaissement 		<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et de la gestion des sédiments => Élimination des eaux et des sols polluants • Création/restauration d'habitats et renforcement de la biodiversité. • Séquestration du carbone
Restauration des zones humides (intérieures)	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des risques d'inondations pluviales et fluviales => Atténuation des débits pluviaux, infiltrations d'eau, élimination des sédiments et de la pollution et stabilisation des nappes phréatiques 		<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau et gestion des sédiments => élimination des polluants de l'eau, réduction de l'érosion des cours d'eau • Augmentation de la capacité de stockage des eaux pluviales => recharge des nappes phréatiques, stockage des eaux pluviales • Création/restauration d'habitats et renforcement de la biodiversité • Séquestration du carbone • Création de ressources, stimulation de l'économie locale et création de l'emploi • Tourisme et loisirs.

4.3

Évaluation des coûts des SFN

L'étape suivante de l'analyse économique est l'estimation des coûts associés à chaque option. Les coûts des stratégies SFN devraient être estimés sur le cycle complet des SFN (par exemple 20 à 50 ans) pour obtenir une évaluation juste des coûts par rapport aux avantages. La majorité des coûts SFN se produisent dans les premières années du projet ; cependant, les avantages mettent du temps à émerger, et il est donc important d'adopter une perspective à long terme (par exemple 20 à 50 ans) dans la prise de décision. Étant donné que la valeur des avantages du SFN s'additionne au fil du temps, il peut s'écouler des années avant que le coût initial ne soit récupéré.

Il est important de considérer tous les coûts associés aux SFN. Ceux-ci devraient inclure i) les coûts de planification, de conception et d'autorisation ; ii) les coûts des terrains nécessaires à la mise en œuvre de la SFN, y compris les coûts d'opportunité ; iii) les coûts d'investissement (coûts de création, de protection ou de restauration) ; et iv) les coûts d'exploitation, d'entretien et de suivi.

Bien que limitées, certaines références générales pour les coûts unitaires des SFN peuvent être trouvées dans la littérature existante (voir tableau 5 ci-après)³¹. Par conséquent, il est particulièrement utile de rechercher des informations pertinentes et à jour sur les coûts des SFN (par exemple des projets antérieurs). Le réseautage avec les communautés qui ont de l'expérience dans la mise en œuvre des mesures de SFN pourrait être une autre source clé d'information sur les coûts. Alors que des informations générales peuvent être

disponibles sur l'efficacité et les coûts unitaires des SFN, il est toujours nécessaire de garder à l'esprit que la faisabilité de chaque option dépendra fortement des circonstances locales. L'estimation des coûts de mise en œuvre des SFN reste une lacune technique, car les coûts peuvent varier d'une région à l'autre en fonction de l'emplacement géographique, du cadre, de la méthode de mise en œuvre, de l'accessibilité du site, de la disponibilité d'entrepreneurs expérimentés et de la nature des exigences en matière de permis. Une meilleure compréhension des coûts de SFN dans les contextes de transport est nécessaire.

Une autre lacune technique concerne le coût de la maintenance à long terme des SFN. Certains coûts d'entretien pour plusieurs types de SFN ont été signalés. Pour les projets de rechargement des plages, l'environnement du Royaume-Uni (UK) suggère que les coûts d'entretien pourraient être proches de zéro³¹. Certains auteurs soutiennent qu'avec une conception appropriée, les SFN devraient être capables de s'adapter à des conditions changeantes au fil du temps (par exemple croître pour suivre le rythme du SLR), réduisant ainsi les coûts de maintenance. Cependant, la littérature existante présente des informations contradictoires quant à savoir si les coûts de maintenance des SFN sont supérieurs ou inférieurs à ceux des approches d'ingénierie traditionnelles³¹. Ce qui semble certain, c'est que les SFN devraient être régulièrement contrôlées pour garantir la fiabilité et la performance à long terme de l'intervention dans l'atteinte des résultats escomptés et des co-bénéfices souhaités.

Tableau 5: Coûts d'investissement et d'entretien et ratios avantages-coûts modérés de plusieurs types de SFN

Type de SFN	Cot de mise en uvre (capital) déclaré	Cot d'entretien annuel déclaré	Preuve empirique des estimations de B/C
Environnement côtier			
Restauration des récifs coralliens	165 000 \$/ha (médiane) ^{40,41} (aussi 542 500\$ /ha ⁴²)	Pour les AMP, 12 M\$/an pour la Grande Barrière de corail ⁴³	13,6 – 15,5 ⁴⁴
Restauration du récif d'huîtres	66 800 \$/ha ⁶		7,34 ⁴⁵
Restauration de la forêt de mangrove	9 000\$/ha (médiane) [Plage : 1 413 - 42 801\$ / ha ³⁵]	Globalement : 7-85\$/ha/année ⁴⁶ (5 000\$ ⁴⁷ -11 000 ⁴⁸ /ha/année en Floride, 10% de l'investissement initial (85 \$/ha) en Indonésie ⁴⁹	41 ²⁶
Restauration des zones humides côtières (Marais salants)	85 000\$ à 230 000/ha ⁴² (67 000 \$ /ha ³⁵)	25\$/m/année aux Pays-Bas ⁵⁰	6 ²⁶ – 8,72 ⁴⁰
Nourriture de plage salants	\$3-21/m ³ (aussi \$2-58/m ³ à l'échelle mondiale ⁵¹ , 4,7-17,6\$ /m ³ aux États-Unis ⁴² , \$3-8/m ³ aux Pays-Bas ⁵² , \$15,5 à 37,5/m ³ en THAI ⁵³)	Varient de presque zéro à plusieurs millions de dollars par km, bien que les coûts se situent généralement dans la partie inférieure de cette fourchette ⁵⁴ .	0,28 – 1,68 ⁴⁰
Restauration/végétalisation des dunes	7 636 - 13 888 \$/ha ⁴⁴	Pour la restauration des dunes, les chiffres suivants son rapportés : 333-2 526\$ /ha/année ⁵⁵	
Environnement intérieur /montagne			

Type de SFN	Cot de mise en uvre (capital) déclaré	Cot d'entretien annuel déclaré	Preuve empirique des estimations de B/C
Restauration des plaines inondables de la rivière	27 200 \$/ha [130-360 000 \$/ha] ⁵⁶	0,5 – 1,5 % du total des coûts d'investissement ⁵⁵	
Modification/suppression de digues le long des rivières	\$1-100/m ³		
Réaménagement du cours d'eau	18-1 200 \$/m ou section de rivière récupérée		
Reboisement des bassins versants	2 207 \$/ha [189 \$ - \$ 5 665 \$/ha] ⁵⁶	Varie considérablement selon l'emplacement et le type d'arbres	
Conservation des forêts / Restauration des forêts (Forêts tropicales)	3 450 \$/ha ⁴²	Varie considérablement selon l'emplacement et le type d'arbres	
Terrassement	1 080 \$/ha/année ⁵⁶	242 \$/ha/année	
Zones de bio-rétention : Bassins de rétention	Pour divers types ⁵⁷ : 60 \$/m ²	0,5 – 10 % des coûts de construction	
Tranchées d'infiltration/ Bassins de bio-rétention	74 \$/m ² 534 \$/m ²		
Restauration des zones humides (intérieures)	33,000 \$/ha ³⁷	785 \$/ha/année (sur une période de 40 ans) sur un coût de restauration de 10 022 \$/ha ⁴⁸	
Connexion des zones humides au cours d'eau	1 000 \$/ha/année (médiane) [Varie de: 6-70 000 \$/ha/année] ⁵⁸ 2 400 - 300 000 \$ É.-U./connexion ⁵⁶		

À des fins de comparaison, le tableau 6 ci-après fournit quelques références sur les coûts d'investissement et d'entretien des ouvrages en dur traditionnellement utilisés pour la protection des zones côtières. En général, les alternatives peu coûteuses actuelles aux structures traditionnelles en dur pour les zones côtières, à des fins de référence, et des exemples de ratios avantages-coûts ont également été inclus dans le tableau 5 ci-dessus sur la base de certaines études récentes entreprises pour différents types de stratégies d'adaptation côtières aux États-Unis (É.-U.). Par exemple, à l'exception de certaines interventions de rechargement des plages entreprises dans l'ouest du golfe du Mexique, tous les autres SFN auraient des rapports avantages-coûts positifs par rapport aux structures en dur. Il convient de noter que les avantages SFN pris en compte dans ces études et d'autres ont tendance à se référer exclusivement aux services de protection offerts par les écosystèmes côtiers

(par exemple, les économies de dommages lors de tempêtes, réductions de l'érosion), et non les co-bénéfices supplémentaires qu'offrent ces écosystèmes. Par conséquent, il est prévu que lorsque certains de ces co-bénéfices supplémentaires sont quantifiés et inclus dans l'évaluation, les ratios avantages-coûts peuvent être encore plus élevés.

Les coûts de la stratégie globale de SFN devraient alors être estimés en additionnant tous les coûts associés, sur la base des coûts unitaires identifiés. Afin de faire une comparaison juste des coûts (qui sont payés dans les premières années d'un projet) et des bénéfices (qui sont réalisés année par année sur plusieurs décennies), les coûts globaux devraient être actualisés et convertis en « termes actuels de valeur ». Enfin, pour obtenir le bénéfice ou le coût moyen de chaque année (c'est-à-dire le bénéfice ou le coût annualisé), la valeur actuelle doit être répartie sur les années d'analyse.

 **Tableau 6:** Coûts d'investissement et d'entretien et ratios avantages-coûts modérés des structures en dur pour la protection des zones côtières

Type d'infrastructure DUR	Cot de mise en uvre (capital) déclaré	Cot d'entretien annuel déclaré
Digue	0,4-27,5 \$ ⁶¹ millions/ km par 1 m de hauteur	1-2 % par an ⁵⁵
Digue de mer	0,9-69,9 \$ ^{55, 62, 63} millions/ km par 1 m de hauteur	1-2 % par an ⁵⁵
Digue	2,5-10,0 \$ ²⁶ millions/km	1 % par an ⁵⁵

4.4

Facteurs clés de résumé à considérer lors de l'évaluation des avantages et des coûts des SFN

En résumé, les facteurs ci-après doivent être pris en compte lors de l'évaluation des avantages et des coûts des SFN pour la sélection des stratégies d'adaptation ou de réduction des risques :

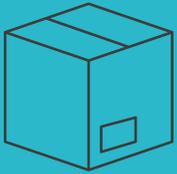
- Les SFN, les habitats côtiers tels que les zones humides côtières, les récifs et les forêts de mangrove à proximité des routes côtières, mais aussi les projets d'alimentation des plages et de restauration des dunes, peuvent protéger les infrastructures routières des impacts des vagues et des ondes de tempête sur les rivages abrités. De même, les approches de restauration forestière, de revégétalisation des pentes ou de restauration des zones humides peuvent également protéger les infrastructures routières du ruissellement et des débits d'eau de pointe ou de l'érosion des sols.
- Certaines de ces SFN ont réussi à fournir des services de protection pendant des décennies, tout en offrant d'autres avantages écologiques plus typiques de ces écosystèmes naturels que des structures artificielles²⁷. Cependant, pour les SFN situées dans les zones côtières, des recherches supplémentaires sont nécessaires concernant la relation entre les avantages des SFN et le temps, en évaluant la capacité des SFN à réduire les risques de tempête en fonction de la durée de celle-ci, et la durée de fiabilité à terme, ainsi que la performance des SFN par rapport à l'élévation future du niveau de la mer.
- Dans les environnements à énergie moyenne qui doivent être élevés, des approches hybrides combinant les SFN avec une certaine forme de structure sont souvent utilisées pour atténuer les vagues et/ou stabiliser les rivages²⁷.
- Il est important de comprendre dans quelle mesure une SFN est efficace pour réduire les risques (par exemple réduire la hauteur des vagues dans les environnements côtiers). Placer une conception spécifique de la SFN est donc essentiel pour atteindre les résultats escomptés et les co-bénéfices. À cette fin, tirer les leçons des erreurs antérieures des projets est la clé pour obtenir des résultats et des avantages. Les

Les SFN, les habitats côtiers tels que les zones humides côtières, les récifs et les forêts de mangrove à proximité des routes côtières, mais aussi les projets d'alimentation des plages et de restauration des dunes, **peuvent protéger les infrastructures routières des impacts des vagues et des ondes de tempête sur les rivages abrités.**

erreurs courantes dans la conception et la mise en œuvre des SFN et des mesures hybrides sont présentées dans l'encadré 4.2.

- Les SFN peuvent fournir une variété d'avantages importants liés à l'adaptation, de grande envergure et potentiellement durables, ainsi que des co-bénéfices socioéconomiques et écosystémiques, malgré les divers compromis et défis associés, tels que le temps nécessaire pour que les avantages puissent émerger.
- La véritable valeur des SFN est généralement supérieure à ce qui peut être monétisé, car la valeur des co-bénéfices est difficile à exprimer en termes monétaires. Alors que l'estimation de la valeur des co-bénéfices est un axe de recherche actif, les co-bénéfices ne pouvant être monétisés doivent être décrits et inclus dans le processus de prise de décision.
- La littérature actuelle fournit quelques références sur les coûts associés à la mise en œuvre et à la maintenance des SFN dans divers contextes. La plupart des références disponibles sont associées avec des projets d'infrastructure routière liés à la SFN dans les zones côtières. Il convient toutefois de noter que ces coûts peuvent varier considérablement en fonction du contexte et du cadre spécifiques, de l'accessibilité du site, des méthodes de mise en œuvre et de la nature des exigences d'autorisation.
- Des facteurs non économiques tels que des contestations judiciaires ou des besoins de sensibilisation du public peuvent augmenter les ressources nécessaires à la mise en œuvre d'une stratégie.
- En général, le manque d'informations quantitatives sur les coûts et avantages relatifs des SFN est l'un des principaux facteurs limitant leur utilisation. Une meilleure compréhension des coûts des paramètres de transport des SFN est nécessaire.
- La plupart des études de cas mettent l'accent sur les défis qui existent pour mesurer pleinement les coûts et les avantages financiers et économiques, et soulignent la nécessité d'aller au-delà des valeurs monétaires pour mieux refléter les avantages de la SFN.





Encadré 4.2.

Erreurs courantes dans la conception et la mise en œuvre des NBS et des mesures hybrides pour la protection des infrastructures routières (en mettant l'accent sur les routes côtières)²⁷

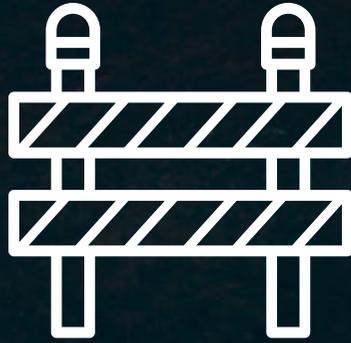
1. Concernant l'ouvrage d'art :

- Des structures sous ou surdimensionnées pour l'application prévue ;
- Utilisation de structures non traditionnelles (p. ex., alternatives aux brise-lames rocheux) dont la performance n'est pas bien comprise;
- Placer des structures dans des endroits qui peuvent en fait exacerber l'érosion du rivage ou les inondations causées par les tempêtes, ou avoir un impact sur les écosystèmes adjacents (par exemple en restreignant la circulation des marées et donc en altérant le mouvement des poissons);
- Utiliser des matériaux lâches ou sous-dimensionnés qui peuvent se déplacer dans des conditions de vagues typiques dans les environnements côtiers ;
- Un calendrier de construction inapproprié par rapport aux saisons de croissance ou de frai des habitats cibles (par exemple, la construction d'un récif d'huîtres un mois trop tard peut retarder le recrutement d'une année entière) ; et
- Effets indésirables inattendus ou anticipés.

2. Concernant le NBS :

- Sélection et utilisation d'une végétation inappropriée (par exemple, des espèces non indigènes ou des espèces envahissantes), en particulier en ce qui concerne le cadre écologique et l'altitude ;
- Utilisation de matériaux de remblayage inappropriés pour l'établissement de marais, de plages ou de dunes dans les environnements côtiers, entraînant une mauvaise fonction écologique et une performance physique réduite ;
- Placer la végétation à des élévations de marée inappropriées ;
- Planter de la végétation en dehors des saisons de croissance locales, qui peuvent ne pas coïncider avec une phase particulière du calendrier du projet ;
- Ne pas tenir compte des processus côtiers physiques spécifiques au site (par exemple, comprendre les niveaux d'eau et les vagues, la géomorphologie locale, les caractéristiques des sédiments, les projections SLR, etc.)





5. LIGNES DIRECTRICES POUR LA PLANIFICATION ET LA MISE EN ŒUVRE DES SFN

- 5.1** Étape 1. Analyse de la situation pour définir la portée et le problème
- 5.2** Étape 2. Évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité
- 5.3** Étape 3. Identification des options de SFN et classement par ordre de priorité
- 5.4** Étape 4. Conception et mise en œuvre des options de SFN
- 5.4** Étape 5. Suivi, évaluation et entretien des options de SFN

La méthodologie de conception et de mise en œuvre des SFN comporte diverses phases et étapes, qui guident les experts dans le processus décisionnel³². Le processus de haut niveau qui suit peut être appliqué à plusieurs scénarios ou sites différents. Le niveau de détail et les méthodologies exactes doivent être adaptés au projet en tenant compte des conditions locales spécifiques au site et à la taille du projet. En outre, certains projets sont entrepris

dans des situations d'urgence, où une solution rapide doit être trouvée. Même dans ces situations, la plupart des étapes doivent être appliquées, bien que certaines d'entre elles puissent être entreprises à un haut niveau uniquement ou en utilisant des données indirectes plutôt qu'en recueillant de nouvelles données.

L'inclusion de la communauté locale dans le processus décisionnel (en employant une stratégie de communication appropriée) est

essentielle pour parvenir à trouver une solution durable qui apporte des avantages plus larges au littoral. Il est recommandé d'élaborer un plan de mobilisation des parties prenantes au début d'un projet et de le mettre à jour tout au long du processus.

Le processus de planification et de mise en œuvre comprend cinq phases itératives, comme suit (voir figure 7 ci-après) :

Les étapes de planification et de mise en œuvre sont présentées sous forme d'exercice avec des exemples de réponses dans **l'annexe 5**.

Figure 7: Résumé des étapes de planification et de mise en œuvre des SFN

ÉTAPE 1.

Analyse de la situation pour définir la portée et le problème

Cette phase consiste à décrire le système écologique et social et les processus pertinents sur le site de mise en œuvre, en ce qui concerne notamment les caractéristiques de l'écosystème, les actifs économiques, la population et les infrastructures. Elle permet d'orienter plus précisément la définition de la portée et du problème qui doit être traité par les interventions d'adaptation.

ÉTAPE 2.

Évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité

Cette phase est destinée à guider le processus d'évaluation des risques climatiques et l'identification des impacts potentiels et des aspects liés à la vulnérabilité des populations, des écosystèmes et des infrastructures. Elle présente plusieurs étapes pour la réalisation d'une analyse des risques climatiques, d'une analyse de l'exposition et d'une analyse de la vulnérabilité.

ÉTAPE 3.

Identification des options de SFN et classement par ordre de priorité

Cette phase fournit divers points à prendre en compte pour déterminer les mesures de SFN susceptibles de réduire les risques climatiques et leurs impacts.

ÉTAPE 4.

Conception et mise en œuvre des options de SFN

Cette étape décrit les points de considération nécessaires pour concevoir et mettre en œuvre les mesures de SFN sélectionnées, en tenant compte de la mobilisation des parties prenantes, des activités détaillées, de la portée géographique et des ressources.

ÉTAPE 5.

Suivi, évaluation et entretien des options de SFN

Cette étape décrit le processus de suivi des SFN, inclut des exemples d'indicateurs de performance et fournit des lignes directrices concernant l'entretien des SFN.



5.1

Étape 1. Analyse de la situation pour définir la portée et le problème



Objectif

Effectuer une analyse rapide de l'état actuel des éléments environnementaux, économiques, socioculturels et des infrastructures routières. Déterminer la portée de l'intervention et le problème spécifique à traiter.



Mobilisation des parties prenantes

La mobilisation des parties prenantes peut renforcer la définition de l'objectif, de la portée et de la réalisation d'une évaluation au début de celle-ci, et augmente les chances d'une évaluation réussie. La consultation des parties prenantes permet de garantir la prise en compte des besoins des différents groupes.

Les méthodes de mobilisation précoce efficaces incluent la tenue d'ateliers et de séances d'information avec les principaux décideurs et les groupes ou personnes susceptibles d'apporter leur contribution à l'évaluation et de s'approprier les résultats (voir encadré 3 ci-dessus). Les formes de communication les plus efficaces varient d'un groupe à l'autre. Par exemple, les services gouvernementaux peuvent disposer de mécanismes de consultation formels et proactifs, tandis que l'implication auprès des communautés locales peut passer par une approche plus informelle.



Informations nécessaires

Pour effectuer cette analyse de base et déterminer la portée du projet, des informations spécifiques au site seront exigées. Des ressources telles que des cartes, des rapports, des plans et des photographies aériennes sont généralement disponibles auprès d'acteurs clés, comme les organismes gouvernementaux tels que le CNGIS (Centre national de l'information géospatiale) et le Laboratoire national du bâtiment et des travaux publics. Une liste des types d'informations courantes à recueillir pour le projet est fournie ci-dessous, ainsi que l'endroit où les trouver.



Résultat

Sélection d'un site d'intervention et définition d'un ensemble d'objectifs adaptés aux conditions de base spécifiques.

 **Tableau 9:** Types d'informations courantes à recueillir pour le projet dans l'étape 1

Type d'information	Informations pertinentes	Où pourrait-on le trouver
Informations sur le climat et la sensibilité aux dangers	<ul style="list-style-type: none"> • Données climatologiques/météorologiques des stations météorologiques : précipitations, température, vent; • Projections du changement climatique. • Susceptibilité de la zone aux inondations, aux ouragans, aux ondes de tempête et aux tremblements de terre. • Événements historiques et impacts dans la zone du projet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Services rencontrés • Organismes de protection des situations d'urgence et de préparation aux catastrophes et organismes/acteurs connexes • Services de protection civile
Environnement physique	<ul style="list-style-type: none"> • Géologie et géomorphologie, sols, couverture végétale et utilisation des terres (agriculture, urbain, autres) : Types de roches et failles géologiques; Levés directs et indirects pour la caractérisation des sols et/ou des roches • Étude géologique détaillée. • Données sur les vagues, les courants, les marées, le niveau de la mer, les précipitations, la structure des vents, • Informations hydrauliques et hydrologiques, telles que les cours d'eau et les bassins versants; hydrologie de surface, qualité de l'eau d'estuaire/marine de réception; • Modèles numériques de terrain : topographie, bathymétrie ; et le drainage (à partir de LiDAR ou d'autres enquêtes); • Cartes régionales : Carte du couvert forestier, Carte des écosystèmes terrestres, Cartes des sols et Carte géologique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agences foncières nationales • Ministères de l'Environnement et des Ressources naturelles • Agences nationales de données spatiales • Agences des ressources en eau • Divisions/départements de géologie
Environnement bio-écologique	<ul style="list-style-type: none"> • Informations sur la végétation • Inventaire, informations sur les attributs et évaluation de : <ul style="list-style-type: none"> • Les écosystèmes terrestres et marins, tels que les forêts, les zones humides, les marais salants, les forêts de mangroves, les plages, les récifs coralliens et d'autres habitats sensibles; • Espèces rares ou en voie de disparition, espèces d'importance commerciale et espèces susceptibles de devenir des nuisances ou des vecteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Départements forestiers • Ministères de l'Environnement et des Ressources naturelles • Agences nationales de protection de l'environnement



Type d'information	Informations pertinentes	Où pourrait-on le trouver
Données d'infrastructure physique	<ul style="list-style-type: none"> • Inventaire, informations d'attribut (par exemple, hauteur, longueur, emplacement géoréférencé, etc.) et l'évaluation de l'état des biens côtiers, y compris les routes, les drains (ravines et canaux), les rivières, le réseau de digues, l'infrastructure côtière, l'infrastructure de transport, l'infrastructure des services publics, l'infrastructure des ressources en eau, les réseaux de télécommunications, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ministères de l'Infrastructure et des Travaux publics • Agences nationales de travaux • Autorités des ressources en eau • Divisions/départements de gestion côtière
Données socio-économiques	<ul style="list-style-type: none"> • Activités de base économique et étendue • Moyens de subsistance tels que la pêche, l'aquaculture, le tourisme et les loisirs, les ressources économiques, les menaces et les opportunités économiques, les projections de croissance, etc. • Cartographie de l'infrastructure sociale dans les zones ciblées, de la population (passée, présente et future), de l'utilisation des terres, du développement planifié les activités, l'emploi, les loisirs et la santé publique, la perception communautaire du développement, les occupants vulnérables. Identification des pressions provenant de sources naturelles et anthropiques et prise en compte des valeurs écologiques, culturelles et économiques, le cas échéant. • Installations essentielles : a) abris d'urgence, b) services d'urgence tels que postes de police, hôpitaux et casernes de pompiers, c) autres installations essentielles telles que les écoles, les banques, les bâtiments publics, les maisons de retraite, les maisons pour enfants, les monuments nationaux, d) ponts, routes côtières et propriétés; et e) les populations à risque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ministères de l'Économie • Ministères des collectivités locales • Départements du développement social • Bureaux de statistique • Organismes de protection civile et de protection des urgences en cas de catastrophe



Principales activités

1. Définition du site et de la portée de l'intervention

Pour définir les options d'intervention, les autorités routières doivent décider quels lieux ou routes inclure dans une évaluation. Il leur est recommandé d'axer en priorité leur évaluation sur les routes et les sites critiques, qui sont les plus importants pour le réseau de transport et le public. L'évaluation pourrait même se concentrer sur un lieu géographique particulier si cette zone revêt une importance majeure pour l'économie du pays. L'identification de la route et du site à évaluer peut également contribuer à réduire la portée de l'évaluation. Les contributions des parties prenantes doivent être utilisées pour guider ou valider la liste des sites. Les principaux critères de sélection des sites sont les suivants :

- Stabilité des pentes
- Risques de sédimentation
- Érosion
- Déclivité des collines
- Topographie
- Terrain
- Processus géomorphique
- Risques pour les ressources utiles
- Sapement dans les zones adjacentes aux routes
- Entailles dans les structures de drainage transversal et complémentaire

En plus de ces critères de sensibilité aux dangers, d'autres critères tels que l'importance socio-économique (c'est-à-dire en relation avec la connectivité), la vulnérabilité physique (par exemple, état de la route) ou importance opérationnelle (c'est-à-dire en relation avec l'utilisation du route) pourrait également être envisagée. Ça devrait être noté que l'exercice de priorisation est souvent un défi tâche dans des contextes de rareté des données.

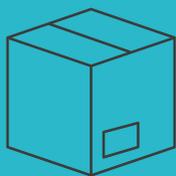




2. Évaluer l'état actuel de l'infrastructure routière

Cette étape vise à effectuer une évaluation générale des infrastructures routières. Pour cela, chaque route peut être subdivisée en sections d'exposition à des dangers similaires en fonction d'une série d'attributs reconnaissables. Ceux-ci peuvent inclure, mais sans s'y limiter :

- un identifiant unique pour le segment de route ou le réseau routier
- longueur du tronçon de route ou du réseau routier
- année estimée ou connue de construction de la route
- l'état de la route et la méthode de construction déduite ou connue utilisée pour construire la route (p. ex. bulldozer, pelle rétrocaveuse)
- volume de trafic
- degré de revégétation se produisant sur la route
- emplacement s'il est différent des cartes de base
- tout indicateur d'instabilité observé
- tout problème d'érosion prévu (dangers)
- interprétation de la stabilité de la pente (dangers)
- matériaux utilisés pour la construction de la route
- Affaiblissement du remblai de la route et des fondations de la route par l'eau stagnante



Encadré 5.3

Questions d'orientation (Étape 1.2)

- Quels sont les écosystèmes identifiés sur le site d'intervention et quel est leur état actuel?
- Quelles sont les caractéristiques de ces écosystèmes? Quels sont les services écosystémiques qu'ils fournissent?
- Quelles est l'importance de ces écosystèmes (par exemple, génèrent-ils des avantages qu'un autre écosystème ne peut pas générer)?
- Quelles utilisations et avantages actuels les acteurs du site d'intervention perçoivent-ils et quelles activités économiques y sont générées?
- Quelles sont les activités menées par les habitants dans la zone ou aux alentours? (par exemple, activités agricoles, ensemenement et collecte d'eau rétablissement des pâturages, activités forestières)
- Y a-t-il une différence concernant le niveau d'accès à ces ressources en fonction des différents groupes (hommes/femmes/jeunes/personnes âgées)?
- Y a-t-il des activités particulièrement importantes pour les femmes/hommes/jeunes?
- Y a-t-il des plantes ou des animaux qui revêtent une importance particulière pour les femmes/hommes/jeunes?

3. Évaluer le status actuel de l'écosystèmes

Cette étape vise à analyser s'il existe des écosystèmes qui jouent actuellement un rôle dans le changement climatique et la protection contre les dangers (par exemple, les inondations, les glissements de terrain), et à comprendre comment ces écosystèmes peuvent contribuer davantage à réduire le risque de tels dangers. La santé des écosystèmes devrait être mesurée par des indicateurs tels que la diversité des espèces, l'abondance et la connectivité. Les changements historiques et les tendances de l'écosystème devraient être évalués afin d'obtenir une première impression de la stabilité et de la résilience de l'écosystème et de mieux comprendre ses services de réglementation et d'approvisionnement d'origine. Le potentiel d'expansion des services de réduction des risques de ces écosystèmes par des efforts de conservation ou de restauration devrait alors être articulé qualitativement. Il est également important d'évaluer le contexte socio-économique de la zone, afin de mieux comprendre la relation entre les éléments socio-économiques et les écosystèmes de la zone. Les activités suivantes sont requises pour cette étape :

- Identifier les écosystèmes clés et leurs processus dans le site sélectionné;
- Évaluer l'état actuel et les processus des principaux écosystèmes sur le site d'intervention, en tenant compte de la taille, du type d'écosystème, des principales espèces végétales et animales d'importance (endémiques, menacées, sous pression, sous gestion, entre autres) et des espèces en voie de disparition.
- Définir les éléments socio-économiques pertinents pour le site d'intervention afin de mieux comprendre le lien avec les écosystèmes.





Étude de cas

● Prioriser les investissements dans les transports résilients au climat dans un environnement où les données sont rares : guide du praticien

Le présent guide du praticien³³ vise à fournir des conseils pour la priorisation des investissements résilients au climat dans les routes³⁴ en présentant une méthodologie générale, un cadre conceptuel et une étude de cas du processus, qui a été menée au Belize. Il s'adresse spécifiquement aux environnements où les données sont rares, mais où il existe une mémoire institutionnelle qui peut être exploitée. Il utilise les données existantes, s'appuie sur les connaissances d'experts et collabore activement avec les principales parties prenantes pour identifier et hiérarchiser les investissements nationaux clés à l'aide d'un processus participatif et fondé sur des données.

Le cadre conceptuel présenté dans le guide se compose de six modules, qui peuvent être mis en œuvre à la fois en parallèle et de manière itérative :

- a. Définition des objectifs et portée du processus d'établissement des priorités
 - b. Compréhension du contexte de la gouvernance et mise en place des arrangements institutionnels pour le processus
 - c. Collecte de données axée sur l'identification et le regroupement des données existantes, et collecte de données, l'accent étant mis sur la création de nouveaux éléments pour combler les lacunes en matière de données
 - d. Évaluation de la criticité
 - e. Évaluation des risques/de l'exposition aux dangers liés au climat
 - f. Prise de décisions éclairées
- Au Belize, le processus consistait à déterminer :
- a) l'importance socioéconomique des tronçons routiers ; et
 - b) la vulnérabilité aux inondations des réseaux routiers primaire et secondaire. Les tronçons routiers essentiels pour l'accès aux services publics, tels que les hôpitaux et les écoles, la circulation des produits et services économiques, et leur utilisation dans les itinéraires

Au Belize, le processus consistait à déterminer : **a) l'importance socioéconomique des tronçons routiers ; et b) la vulnérabilité aux inondations des réseaux routiers primaire et secondaire.**

d'évacuation, ainsi que ceux qui donnent accès aux personnes socialement vulnérables, ont été évalués dans le cadre d'un processus participatif d'évaluation multicritère (EMC). Des représentants de plus de 35 ministères, municipalités, organisations du secteur privé, société civile, organisations non gouvernementales (ONG) et établissements universitaires ont déterminé les critères les plus importants pour évaluer les tronçons routiers critiques. Une fois ceux-ci établis, les participants ont élaboré des indicateurs pour évaluer les critères et noté chaque indicateur, ce qui a permis une analyse quantitative du réseau routier. La vulnérabilité aux inondations a été analysée à l'aide d'une approche combinée d'inspections sur le terrain et de collecte de renseignements sur les événements passés. En intégrant les résultats de ces processus, un modèle géospatial de pointe a ensuite été développé à partir de l'analyse du réseau.

Dans le cadre de ce processus, quatre secteurs clés ont été identifiés qui étaient les plus critiques et très vulnérables aux inondations. Les résultats de ce processus ont été adoptés par le Gouvernement bélizien en tant que plan stratégique et ont été utilisés pour coordonner

les investissements qui ont été mis en œuvre avec divers donateurs, y compris la Banque mondiale. Ce processus a été couronné de succès au Belize parce que le ministère responsable de la planification du développement national a assuré un leadership fort tout au long du processus. Ceci est essentiel pour que les résultats de ces processus d'établissement des priorités puissent être intégrés dans les processus nationaux.

Grâce à ce processus, quatre zones clés ont été identifiées, dont les plus critiques étaient très vulnérables aux inondations. Les résultats du processus ont été adoptés par le Gouvernement bélizien en tant que plan stratégique et ont été utilisés pour coordonner les investissements mis en œuvre avec divers donateurs, y compris la Banque mondiale. Ce processus a été couronné de succès au Belize parce que le ministère responsable de la planification du développement national a assuré un leadership fort tout au long du processus. Ceci est essentiel pour que les résultats de ces processus d'établissement des priorités puissent être intégrés dans les processus nationaux.

5.2

Étape 2. Évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité



Objectif

Cette phase vise à orienter l'identification des risques climatiques et l'évaluation des dangers qu'ils présentent pour les ressources et les infrastructures routières. Le choix des interventions dépend en partie des risques côtiers qui prévalent sur le site sélectionné.



Mobilisation de parties prenantes

La mobilisation des parties prenantes doit intervenir en complément de la phase de collecte de données et garantir l'utilisation des meilleures données disponibles pour le site sélectionné.



Informations nécessaires

Informations concernant les dernières catastrophes et leurs impacts survenus sur le site sélectionné, informations sur les changements climatiques prévus, cartes morphologiques.



Résultat

Un profil de risque et de vulnérabilité dans les scénarios climatiques actuels et futurs couvrant les dangers, l'exposition et les vulnérabilités.



Principales activités

1. Identification des risques, de l'échelle et des niveaux d'exposition

Une fois que les autorités routières ont réalisé la première étape visant à définir les infrastructures ou les lieux à inclure dans une évaluation (par exemple les infrastructures critiques uniquement, toutes les infrastructures situées dans une région donnée, etc.), l'exposition aux impacts résultant des aléas naturels peut être évaluée. Les autorités routières peuvent classer l'exposition par catégories en évaluant les niveaux d'exposition existants, sur la base d'événements et d'observations anciens et récents, des connaissances locales et techniques et des recherches existantes. Le choix de l'échelle d'analyse et du niveau de précision le plus pertinent joue un rôle important, comme indiqué ci-après :

- L'orientation **à l'échelle territoriale** (territoires desservis par le réseau routier) est le stade auquel le risque pourrait toucher la plus grande partie ou la totalité du territoire. C'est également la seule échelle d'analyse où tous les enjeux territoriaux liés au réseau routier peuvent être abordés. Les autorités responsables des différents secteurs coopèrent pour réduire les risques.
- L'orientation **à l'échelle du réseau** est nécessaire pour déterminer les principales vulnérabilités d'un réseau routier avant de

se concentrer sur les segments, les nœuds ou les structures critiques. Les échelles du territoire et du réseau correspondent toutes deux à des approches stratégiques, basées sur des scénarios climatiques et une analyse qualitative (expertise) de la vulnérabilité et des conséquences.

- L'orientation **à l'échelle du segment** est menée soit avant l'approche consolidée à l'échelle du réseau lorsque les segments critiques sont déjà connus (niveaux de trafic élevés, absence de route alternative, écosystèmes sensibles), soit après avoir identifié les segments vulnérables par l'approche du réseau afin d'affiner l'analyse.
- L'orientation **à l'échelle de la structure** se concentre sur l'analyse des points critiques d'un segment, comme un viaduc, un tunnel, un nœud (de circulation), etc. Ces points critiques peuvent être identifiés grâce à l'approche par réseau ou par segment. Étant donné que l'analyse se concentre sur un seul objet, il est plus facile de mettre en œuvre une approche globale et technique (quantitative). La matrice qui suit (voir tableau 8 ci-après) peut être utilisée pour déterminer l'exposition d'infrastructures ou d'emplacements spécifiques.

 **Tableau 8:** Matrice d'évaluation de l'exposition des routes.

	Extreme Temperature	Sécheresse	Précipi- tations moyennes	Empêtes/ Précipita- tions ex- trêmes	Forte va- riabilité climatique	Élévation du niveau de la mer ou ondes de tempête
Infrastructure/ Emplacement/ Activité A						
Infrastructure/ Emplacement/ Activité B						
Infrastructure/ Emplacement/ Activité C						
Infrastructure/ Emplacement/ Activité D						

Note: L'exposition peut être notée comme suit : X = pas d'exposition ou exposition négligeable aujourd'hui ou à l'avenir ; 1 = faible exposition aujourd'hui ou à l'avenir ; 2 = exposition moyenne aujourd'hui ou à l'avenir ; 3 = forte exposition aujourd'hui ou à l'avenir.

 **Tableau 11:** Description des impacts et échelles de probabilité

Probability of impact	Definition	Score
Probable/quasi certain	Il y a de grandes chances que cela se produise (probabilité supérieure à 50 %)	 3
Peu probable	Il est possible que cela se produise (probabilité inférieure à 50 %)	 2
Rare/très improbable	Faible probabilité, mais pas impossible (probabilité faible, mais sensiblement supérieure à zéro)	 1

2. Évaluation du niveau de vulnérabilité

La vulnérabilité au changement climatique et aux risques naturels désigne la propension ou la prédisposition d'un écosystème à être impacté négativement par les risques climatiques. La vulnérabilité s'explique par les deux facteurs suivants : 1) la sensibilité, et 2) la capacité d'adaptation. La sensibilité désigne la mesure dans laquelle un système est impacté par des stimuli liés au climat.

- **Évaluation du niveau de sensibilité d'après :**

- a. L'expérience d'événements récents et anciens (par exemple, l'inondation d'une route à un certain endroit peut avoir entraîné des dommages environnementaux et économiques plus étendus que des niveaux d'inondation similaires dans une autre zone similaire) ;
- b. La situation géographique (par exemple, les routes situées sur des pentes seront probablement plus sensibles aux glissements de terrain et à l'affouillement que celles situées dans des régions plates, et les zones d'un réseau qui servent de liens majeurs entre de grandes zones urbaines subiront un niveau de perturbation plus élevé lors de phénomènes météorologiques extrêmes que les zones du réseau situées dans des zones moins peuplées et moins urbanisées) ; et
- c. L'état et la durée de vie des infrastructures (par exemple les parties du réseau mal entretenues et en mauvais état seront probablement plus sensibles aux impacts des conditions météorologiques extrêmes que les zones ou les infrastructures récemment construites ou bien entretenues).

- **Évaluation du niveau de la capacité d'adaptation.** La capacité d'adaptation peut être un concept difficile à quantifier et à évaluer en raison de plusieurs facteurs internes et externes. Par exemple, bien qu'une infrastructure, un emplacement ou une activité puisse être très exposé(e) et sensible aux aléas (ce qui donne un niveau de vulnérabilité élevé), il/elle peut avoir une capacité accrue d'adaptation aux impacts et sa vulnérabilité globale est donc considérée comme plus faible lorsque la capacité d'adaptation est prise en compte. Le tableau 10 ci-après fournit un exemple d'échelle pour aider à attribuer une capacité d'adaptation élevée, moyenne ou faible. Le niveau de capacité d'adaptation attribué doit reposer sur les niveaux de sensibilité actuels.

- **Définition du niveau de vulnérabilité global.** En combinant les notes de la capacité d'adaptation et de la sensibilité, il est possible de déterminer si la route est vulnérable, dans quelle mesure et pour quelles variables climatiques. Les infrastructures qui présentent une grande sensibilité et une faible capacité d'adaptation seront plus vulnérables à la variable climatique que celles qui ont une faible sensibilité et une grande capacité d'adaptation. Celles qui présentent une faible vulnérabilité à la variable climatique sont moins susceptibles de nécessiter la mise en place de stratégies d'adaptation pour les protéger. La matrice de vulnérabilité présentée dans le tableau 11 ci-après fournit un exemple de la manière dont la sensibilité et la capacité d'adaptation peuvent être utilisées pour déterminer le niveau de vulnérabilité global.

 **Tableau 12:** Description du niveau de sensibilité des infrastructures routières

Niveau de sensibilité		Description du niveau de sensibilité des infrastructures (exemple)
3	 Élevé	Dommmages permanents ou conséquents nécessitant d'importantes réparations.
2	 Moyen	Infrastructures endommagées et interruption des services généralisés nécessitant des réparations modérées. Infrastructures locales partiellement endommagées.
1	 Faible	Perturbation localisée des services d'infrastructure. Aucun dommage permanent. Quelques travaux de restauration mineurs nécessaires.
0	 Négligeable	Les services d'infrastructure ne sont ni endommagés ni perturbés.

 **Tableau 13:** Description du niveau de la capacité d'adaptation

Niveau de la capacité d'adaptation		Description de la capacité d'adaptation des infrastructures (exemple)
3	 Élevé	Dommmages permanents ou conséquents nécessitant d'importantes réparations
2	 Moyen	Infrastructures endommagées et interruption des services généralisés nécessitant des réparations modérées. Infrastructures locales partiellement endommagées
1	 Faible	erturbation localisée des services d'infrastructure. Aucun dommage permanent. Quelques travaux de restauration mineurs nécessaires
0	 Négligeable	Les services d'infrastructure ne sont ni endommagés ni perturbés

 **Tableau 14:** Évaluation du niveau de vulnérabilité global des infrastructures routières sur la base de l'évaluation de la capacité d'adaptation et de la sensibilité

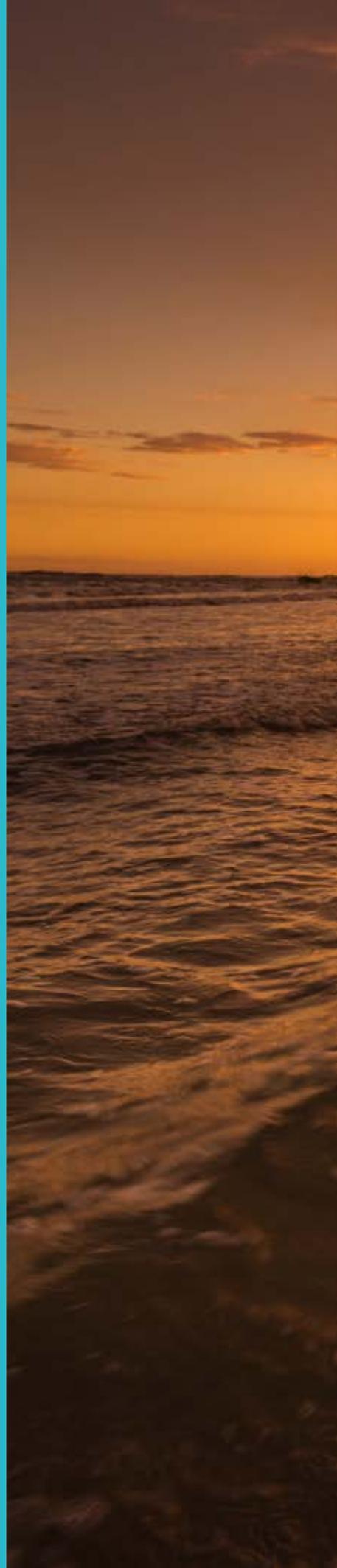
Capacité d'adaptation	Sensibilité		
	Faible	Moyenne	Élevée
Faible	 4 (Moyenne)	 5 (Élevée)	 6 (Extrême)
Moyenne	 3 (Faible)	 4 (Moyenne)	 5 (Élevée)
Élevée	 2 (Très faible)	 3 (Faible)	 4 (Moyenne)



Encadré 5.4

Questions d'orientation

- L'infrastructure, l'emplacement ou l'activité est-il/elle capable de s'adapter aux changements climatiques ? Par exemple, l'infrastructure a-t-elle été conçue en tenant compte des changements climatiques ? Le réseau/l'infrastructure est-il/elle en bon état ?
- Y a-t-il des obstacles empêchant une infrastructure, un emplacement ou une activité de s'adapter à un climat changeant ? Par exemple, des ressources limitées, une volonté politique, des incertitudes/différends concernant la propriété, l'absence de définition des rôles et des responsabilités, l'absence d'intégration et d'éducation de la communauté ?
- Le réseau routier est-il déjà confronté à des défis (non climatiques) qui limiteront sa capacité à s'adapter aux changements climatiques ? Par exemple, il pourrait être grandement nécessaire d'améliorer les routes existantes pour faire face à l'augmentation du trafic et les ressources sont concentrées sur ce point.
- Le rythme du changement climatique prévu sera-t-il probablement plus rapide que la capacité d'adaptation du système ? Par exemple, la durée de vie des infrastructures sera-t-elle réduite en raison des pressions croissantes exercées par les risques climatiques ? Les infrastructures, les emplacements et les activités, qui ont une capacité intrinsèque à s'adapter au changement climatique, pourront-ils le faire avant d'atteindre les seuils limites ?
- Des initiatives et des procédures ont-elles déjà été entamées pour faire face aux impacts du changement climatique liés au réseau ? Par exemple, des plans, des programmes ou des stratégies ont-ils été mis en place pour renforcer la capacité d'adaptation ? Existe-t-il des plans d'urgence en cas de défaillance temporaire/permanente ou de perte d'une infrastructure, d'un emplacement ou d'une activité ?





3. Évaluation des risques climatiques et des impacts potentiels

Cette étape vise à permettre aux experts de comprendre et, si possible, de quantifier les risques pour les réseaux et les infrastructures routiers d'une manière simpliste, accessible, itérative, mais solide et holistique, en suivant les principes d'évaluation des risques. Les experts pourront classer leurs infrastructures, leurs emplacements et leurs activités en fonction du niveau de probabilité ou de gravité des risques. Cette approche permettra de déterminer les endroits où les risques les plus importants sont susceptibles de se produire et préparera les experts à l'identification des réponses d'adaptation. Le tableau 12 ci-après présente une liste des impacts potentiels sur les infrastructures routières dus à des hausses de température, à des pluies prolongées et abondantes et à l'élévation du niveau de la mer. Le niveau de gravité et de probabilité de ces impacts devra faire l'objet d'une évaluation plus approfondie.

- **Évaluation de la gravité des impacts.** La gravité fait référence à un jugement sur la sévérité d'un impact (comme l'inondation d'une route, les dommages causés à un pont par la chaleur, un glissement de terrain à un endroit particulier, etc.) si celui-ci devait se

produire, quelle que soit la probabilité que ce risque se matérialise. La gravité est évaluée par l'utilisateur sur la base des connaissances, des estimations et des preuves d'événements similaires par le passé (à une échelle similaire, sur la même infrastructure ou sur une infrastructure similaire, ou au même endroit ou à un endroit similaire) et peut être notée à l'aide d'une échelle de gravité. Les critères de l'échelle de gravité et les paramètres qui y sont associés doivent être adaptés aux besoins et aux priorités locaux et l'explication ci-dessous est fournie à titre d'exemple uniquement. Idéalement, les critères et les paramètres de notation sont définis dans le cadre d'un atelier avec les principales parties prenantes, afin d'identifier les critères importants à utiliser pour évaluer les conséquences (voir tableau 14 ci-après).

- **Détermination du niveau de risque.** Sur la base des résultats concernant le niveau d'exposition, la vulnérabilité et les impacts potentiels du changement climatique, le niveau de risque peut être estimé comme étant faible, moyen ou élevé. L'échelle des niveaux de risque du tableau 15 ci-après indique comment la combinaison des composantes du risque peut conduire à différents niveaux de risque.

Les critères et les paramètres de notation sont définis dans le cadre d'un atelier avec les principales parties prenantes, afin d'identifier les critères importants à utiliser pour évaluer les conséquences.

 **Tableau 15:** Échelle de gravité pour l'évaluation des impacts

Critères de notation	1 (Faible)	2 (Moyenne)	3 (Élevée)
Population et communautés	Entre 1 et 2 % de la population touchée	Entre 2 et 5 % de la population touchée	Entre 5 et 10 % de la population touchée
Impact économique	Moins de 1 million de dollars É-U.	Entre 1 et 5 millions de dollars É-U.	Plus de 5 millions de dollars E.U.
Personnes et employés	Employés d'un grand bureau touchés	Employés d'une fonction touchés (par exemple, l'entretien)	Employés d'une unité commerciale touchés
Société	Perturbation régionale des services, pratiques et événements sociaux essentiels	Perturbation régionale des services, pratiques et événements sociaux essentiels	Perturbation nationale des services, pratiques et événements sociaux essentiels
Parties prenantes et chaîne d'approvisionnement	Plusieurs parties prenantes ou éléments de la chaîne d'approvisionnement touchés	Un groupe de parties prenantes ou d'éléments de la chaîne d'approvisionnement touché	Plusieurs groupes de parties prenantes ou d'éléments de la chaîne d'approvisionnement touchés

 **Tableau 16:** Échelle de gravité des risques basée sur l'exposition, la vulnérabilité et les impacts du changement climatique

Exposition	Niveau de vulnérabilité	Impacts du changement climatique	Risque
● Élevée	● Élevée	● Élevée	● Élevée
● Élevée	● Élevée	● Moyenne	● Élevée
● Moyenne	● Moyenne	● Faible	● Moyenne
● Moyenne	● Faible	● Élevée	● Moyenne
● Moyenne	● Faible	● Moyenne	● Moyenne



Box 5.5

Les facteurs géographiques à prendre en compte lors de l'identification des types de risques liés au changement climatique futur sont notamment les suivants :

- **La présence de plans d'eau :** les zones côtières peuvent devoir prendre en compte l'élévation du niveau de la mer
- **L'altitude :** les zones situées à des altitudes plus élevées peuvent être plus concernées par des phénomènes météorologiques extrêmes tels que des vitesses de vent élevées et des niveaux de précipitations accrus, associés à une fréquence et à une ampleur accrues des tempêtes liées au changement climatique ;
- **L'utilisation du sol :** les zones fortement urbanisées peuvent se concentrer sur les dommages causés aux systèmes de drainage des routes et aux tissus des routes et des chaussées, tandis que les zones plus rurales peuvent être préoccupées par l'accès et la dépendance excessive à l'égard des structures routières en raison d'un manque de redondance ;
- **La topographie :** La topographie est susceptible d'être une considération majeure pour les autorités routières nationales, notamment en ce qui concerne l'excès de ruissellement des eaux de surface associé aux événements d'inondation exacerbés par le changement climatique ;
- **Le sol et la géologie :** il s'agira d'une considération pour les autorités qui ont déjà connu des glissements de terrain et qui seront un facteur de risque d'inondation.
- **L'accessibilité :** certains emplacements géographiques peuvent avoir un accès et/ou des liaisons de transport médiocres qui peuvent être davantage affectés et limités par des variables climatiques telles que des événements climatiques extrêmes, incluant les inondations.





Étude de cas

Exemple de carte de vulnérabilité des infrastructures routières en haïti

Des cartes de vulnérabilité du réseau routier haïtien ont été élaborées dans le cadre du projet « Élaboration d'un plan et de lignes directrices, et renforcement des capacités pour l'adoption de solutions fondées sur les écosystèmes afin de protéger les infrastructures en Haïti ». L'étude complète a été incluse dans l'annexe 1. Un descriptif sommaire de la méthodologie a été inclus dans l'annexe 3 pour faciliter la consultation.

Étapes de l'analyse

Étape 1. Informations spatiales

Pour produire les cartes de vulnérabilité, il est nécessaire d'obtenir et de traiter des informations géospatiales provenant de différentes sources et à différentes échelles. De plus amples informations sur la méthodologie sont présentées dans l'annexe 3 intitulée « Méthodologie pour la production de cartes de vulnérabilité en Haïti et résultats ».

Étape 2. Analyse des informations

À partir des informations spatiales obtenues au stade précédent, différents processus ont été réalisés, tels que la reclassification des données et les superpositions de couches. Ces informations ont été traitées au niveau des départements pour une meilleure gestion des informations et une meilleure représentation des résultats.

En outre, l'analyse a été effectuée pour chaque classification des routes (communales, départementales et nationales). Pour chacune d'entre elles, une zone tampon d'affectation (zone d'influence) de 200 m a été générée.

Au final, trois produits d'analyse (indicateurs) ont été obtenus, parmi lesquels le risque d'exposition aux menaces climatiques et les effets indirects qui pourraient toucher les infrastructures en Haïti.

- **Proximité des côtes.** Le risque est dû à l'exposition des routes aux changements de marées provoqués par les tempêtes tropicales et les ouragans. L'impact sur les routes se traduit par des inondations et l'érosion des talus. Pour l'indicateur de proximité des côtes, les valeurs ci-après ont été prises en considération (voir tableau 16 ci-après).
- **Inclinaison des pentes.** Le risque est dû à l'exposition des routes aux glissements de terrain et à l'érosion des pentes. Les matériaux peuvent glisser en raison des phénomènes météorologiques, de la saturation des matériaux et leur glissement dû à la gravité,

ou des tremblements de terre, entre autres. L'impact sur les routes se traduit par des obstructions causées par les matériaux. Pour l'indicateur d'inclinaison des pentes, les valeurs ci-après ont été prises en considération (voir tableau 17 ci-après).

- **Franchissements.** Le risque est dû à l'exposition des routes résultant de l'augmentation du débit des voies d'eau et des inondations. L'augmentation du débit des rivières et des masses d'eau est due, entre autres, aux pluies, aux tempêtes et aux ouragans. Les dommages causés aux routes se traduisent par l'érosion des talus, des inondations et une obstruction des routes, ainsi que par des dommages causés aux ponts. Pour l'indicateur des franchissements, l'intersection entre les routes et la zone tampon hydrologique de 150 m a été prise en compte.

Il est important de préciser que pour une analyse plus spécifique, il faut connaître les autres facteurs et conditions du site, comme le type de sol et de roche dont dépend la stabilité des pentes, l'existence d'ouvrages de drainage fonctionnels ou l'existence d'ouvrages sur les pentes. Ces indicateurs permettent cependant de se faire une idée générale de la vulnérabilité des infrastructures routières d'Haïti.

Les trois indicateurs ont été intégrés pour obtenir des indices de vulnérabilité. Ces valeurs sont : risque nul, faible, moyen et élevé (voir tableau 18 ci-après).

 **Tableau 16:** Valeurs de l'indicateur de proximité des côtes

Niveau	Indice	Description
Nul	● 0	Zones situées à une altitude supérieure à 30 m.a.s.l.
Route à faible risque	● 1	Zones situées à une altitude comprise entre 20 et 30 m.a.s.l. ³⁵
Route à risque moyen	● 2	Zones situées à une altitude comprise entre 10 et 20 m.a.s.l.
Route à risque élevé	● 3	Zones situées à une altitude comprise entre 0 et 10 m.a.s.l.

 **Tableau 17:** Valeurs de l'indicateur d'inclinaison des pentes

Niveau	Indice	Description
Nul	● 0	Zones présentant une pente comprise entre 0 et 5°.
Route à faible risque	● 1	Zones présentant une pente comprise 5 et 25°.
Route à risque moyen	● 2	Zones présentant une pente comprise 25 et 40°.
Route à risque élevé	● 3	Zones présentant une pente supérieure à 40°.

 **Tableau 18:** Indices de vulnérabilité des infrastructures

Niveau	Indice	Description
Nul	● 0	<ul style="list-style-type: none"> Routes exposées à des collines présentant des pentes comprises entre 0 et 5° Routes éloignées des franchissements et des masses d'eau Routes éloignées du littoral ou dont l'altitude est supérieure à 30 m.a.s.l.
Route à faible risque	● 1	<ul style="list-style-type: none"> Routes exposées à des collines présentant des pentes comprises entre 5 et 25° Routes proches de franchissements et de masses d'eau (à moins de 150 m) Routes à proximité du littoral à une altitude comprise entre 20 et 30 m.a.s.l.
Route à risque moyen	● 2	<ul style="list-style-type: none"> Routes exposées à des collines présentant des pentes comprises entre 25 et 40° Routes proches de franchissements et de masses d'eau (à moins de 150 m) Routes à proximité du littoral à une altitude comprise entre 10 et 20 m.a.s.l.
Route à risque élevé	● 3	<ul style="list-style-type: none"> Routes exposées à des collines présentant des pentes supérieures à 40° Routes proches de franchissements et de masses d'eau (à moins de 150 m) Routes à proximité du littoral à une altitude comprise entre 0 et 10 m.a.s.l.

Résultats de l'analyse pour le département de Grand'Anse

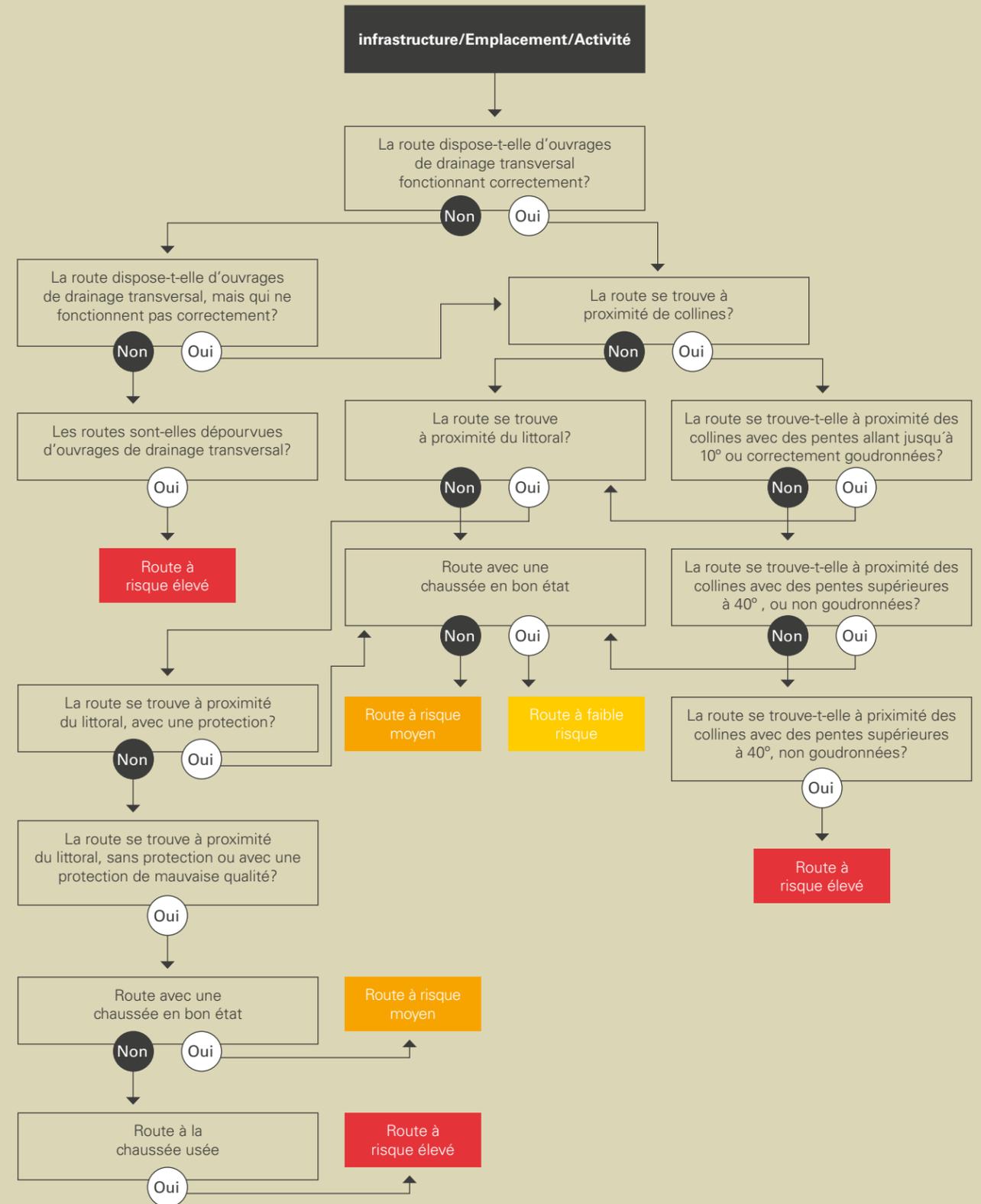
Le département de Grand'Anse compte environ 225 km de routes principales, dont 43 km de routes communales, 121 km de routes départementales et 59 km de routes nationales (voir annexe 4.1). La

carte qui en résulte est présentée ci-dessous. La figure 8 ci-après illustre un arbre de décision qui vise à soutenir le processus d'identification des risques pour les infrastructures routières.

Carte de vulnérabilité : Grand'Anse department



Figure 8: Arbre de décision pour l'identification des options d'intervention en fonction du niveau de risque pour la route



5.3

Étape 3. Identification des options de SFN et classement par ordre de priorité



Objectif

Déterminer les stratégies possibles pour réduire les risques d'inondations, de glissements de terrain et autres risques climatiques, et évaluer si les solutions fondées sur la nature sont une alternative adéquate ou un complément valable aux options conventionnelles. Dans la mesure du possible, les solutions fondées sur la nature doivent être classées par ordre de priorité en évaluant les compromis et les limites. Des actions plus détaillées sont mentionnées, tout en utilisant des méthodes d'évaluation de la valeur des SFN.



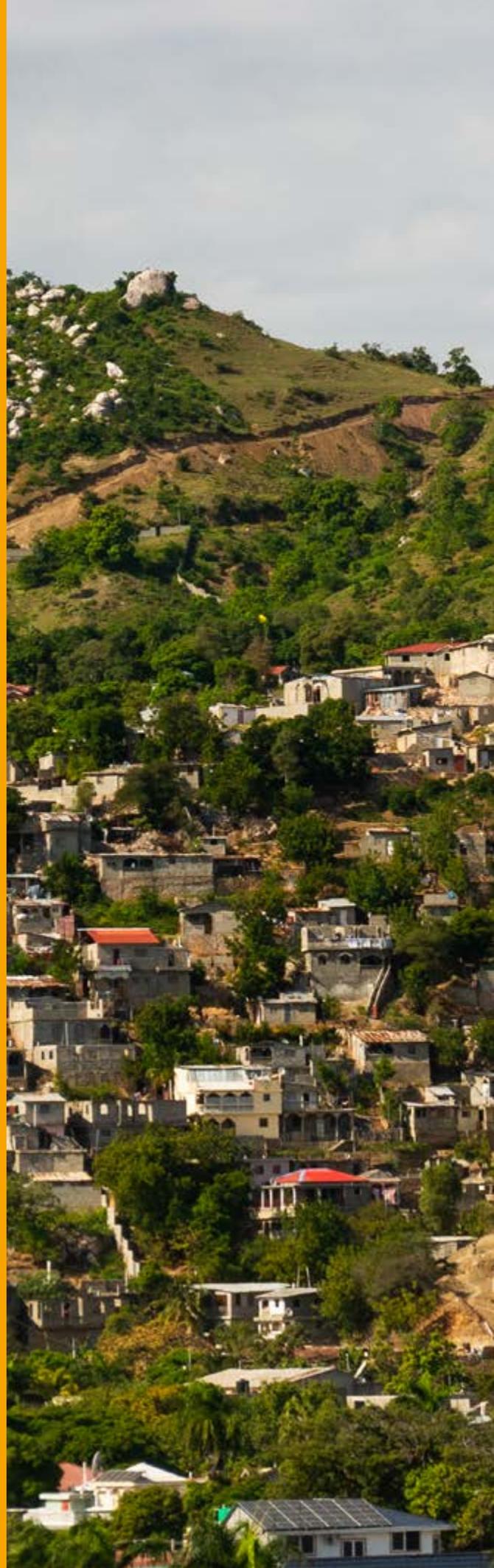
Mobilisation de parties prenantes

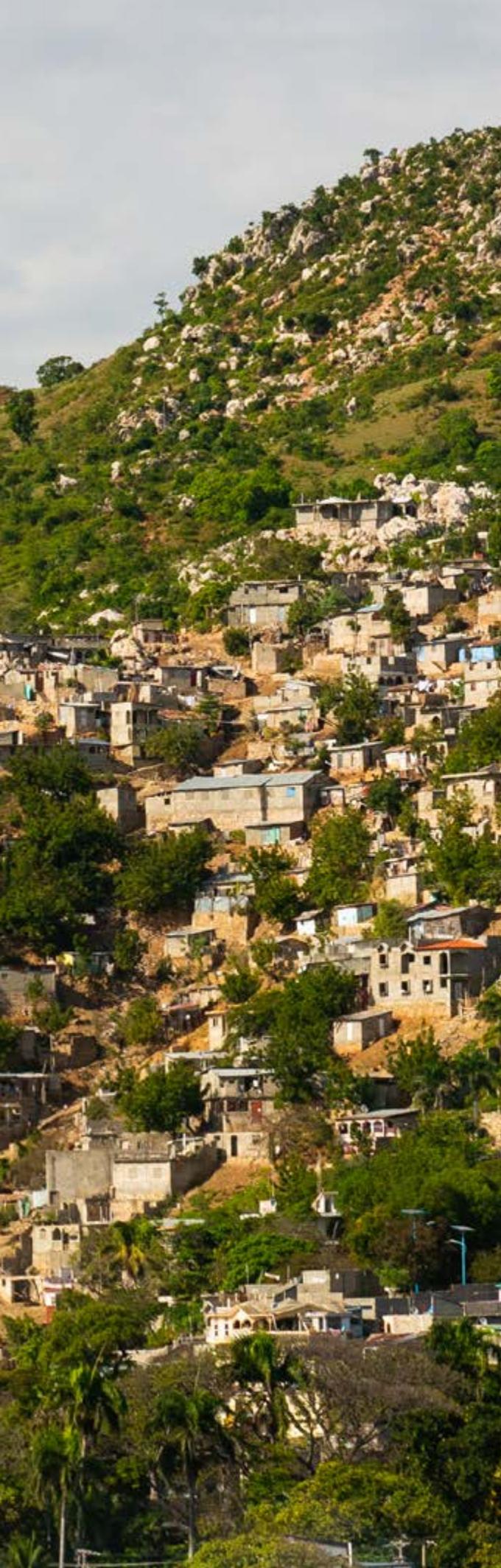
Utiliser le groupe multipartite pour valider les meilleures options et développer une analyse de rentabilisation.



Résultat

Une liste succincte d'interventions réalisables sur les plans technique, économique, social et environnemental, précisant les coûts approximatifs à des fins de comparaison.





Principales activités

1. Identification des options d'intervention potentielles fondées sur la nature ou hybrides

Sur la base de l'évaluation des risques, identifier les solutions possibles fondées sur la nature ou hybrides pour faire face au risque spécifique. Tenir compte du fait que des mesures non structurelles (telles que des systèmes d'alerte précoce et l'aménagement du territoire) et diverses combinaisons de mesures fondées sur la nature, conventionnelles et non structurelles peuvent être nécessaires pour traiter le problème spécifique des risques d'inondation. Étudier la façon dont la conservation, l'élargissement d'un écosystème existant ou la restauration d'un écosystème détruit peut contribuer à réduire, par exemple, les risques d'inondations ou de glissements de terrain. Examiner les projets précédents et les SFN possibles pour en tirer des leçons et réaliser une estimation préliminaire des coûts. Évaluer les facteurs susceptibles d'influencer la stabilité et les performances des écosystèmes vitaux. Évaluer également les possibilités de les intégrer dans la gestion générale du système. Établir une liste des options de SFN/hybrides réalisables et des mesures d'accompagnement.

Selon le niveau de risque du site sélectionné, les solutions fondées sur la nature peuvent offrir différentes approches de gestion des risques climatiques. Ces approches sont les suivantes³⁶:

- **Construire:** L'objectif est de préserver la position actuelle des côtes et de maintenir ou d'augmenter le niveau de protection à l'aide d'interventions fondées sur la nature, hybrides ou dures.
- **Protéger:** L'objectif est d'utiliser les interventions existantes pour assurer la protection plutôt que d'élaborer ou de mettre en œuvre de nouvelles interventions.

- **Accommoder:** L'objectif est de modifier ou de moderniser les interventions existantes ou adjacentes qui sont déjà sur place afin d'améliorer les performances globales du système.
- **Retraiter:** L'objectif est de revoir ou d'adopter de nouveaux outils d'aménagement pour permettre aux côtes de faire face à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations dues aux ondes de tempête.

Le tableau 19 ci-après énumère les atouts et les points faibles des interventions dures, fondées sur la nature et hybrides.

 **Tableau 19 :** Exemples d'approches de gestion côtière appliquées aux infrastructures routières

Approche de gestion côtière	Exemple appliqué aux infrastructures
Construire	Planification d'interventions d'alimentation sur les plages, de systèmes de murets, de brise-lames détachés, de pieux en bois, afin de construire une barrière côtière pour les actifs côtiers (par exemple, les routes côtières) contre l'action des vagues et l'érosion côtière
Protéger	Rénover un revêtement qui protège une route côtière de l'action des vagues; la restauration des récifs coralliens, des forêts de mangroves, des zones humides ou des systèmes de dunes qui servent de tampon pour une route côtière;
Accommoder	Élever le niveau d'une route pour tenir compte de l'élévation projetée du niveau de la mer
Reculer	Planifier un nouvel environnement résilient au climat plus à l'intérieur des terres en tenant compte des limites de recul requises.



2. Classement des options identifiées par ordre de priorité en fonction des objectifs techniques, sociaux, environnementaux et économiques

Une fois que plusieurs options de SFN/hybrides ont été identifiées, chacune d'entre elles doit être examinée sur la base des objectifs techniques, sociaux, environnementaux et économiques afin de donner la priorité aux options les plus réalisables et les plus rentables. Cette sélection doit s'effectuer dans le cadre d'un processus participatif avec les parties prenantes. Deux méthodes principales peuvent être utilisées pour classer les options d'intervention par ordre de priorité : a) l'analyse multicritères ; et b) l'analyse coûts-avantages. Les principales étapes sont les suivantes :

- Prendre en compte les multiples valeurs et avantages, y compris non monétaires, afin de cerner la valeur totale des différentes options de SFN et hybrides ;
- Attribuer des pondérations aux critères proposés et utiliser ces derniers pour classer les options ;
- Établir un ordre de priorité et une liste restreinte d'options de SFN et hybrides sur la base des critères convenus ;
- Utiliser le groupe multipartite et consulter les autres détenteurs de droits pour déterminer les meilleures options et réaliser une analyse de rentabilisation ;
- Analyser les coûts, les avantages, les impacts et les compromis de différents scénarios de gestion des risques, ainsi que les coûts de l'inaction, pour cerner les gains ou les pertes au niveau des fonctions écosystémiques et de la fourniture de services ayant un impact sur l'adaptation, sur la réduction des risques de catastrophe et sur la résilience (par exemple en prenant en considération les zones humides).

Les deux méthodologies se différencient par leur complexité, par le type d'analyse (qualitative ou quantitative) et par les ressources et les contributions nécessaires à leur utilisation.

- **Analyse multicritère** - l'analyse est effectuée sur la base d'informations qualitatives qui permettent de classer diverses options de SFN/hybrides selon des critères présélectionnés. Cela permet d'établir des priorités à partir d'une quantité limitée d'informations quantitatives. Les critères de sélection doivent être définis avec la participation de toutes les parties prenantes impliquées dans le processus de planification.
- **Analyse coûts-avantages** - L'analyse est basée sur des informations quantitatives pour estimer et comparer tous les coûts et avantages d'une mesure de SFN/hybride, afin de renseigner sur les mesures qui génèrent les plus grands avantages directs, indirects et d'externalités positives associés à la réduction des risques liés au changement climatique. Les avantages perçus par la population utilisant les services écosystémiques seront liés aux écosystèmes où les SFN seront mises en œuvre.

À l'issue du processus de priorisation, une ou deux options auront été sélectionnées, une ou deux options de SFN ou hybrides, adaptées au site concerné. Une liste d'exemples de solutions de SFN et hybrides est incluse dans le catalogue de solutions (septième partie).





Étude de cas

Sélection de sites pilotes dans le grand sud d'Haïti

Le Grand Sud d'Haïti, la Péninsule Tiburon ou la Péninsule Sud abrite la Grand'Anse, les Nippes, le sud et le sud-est et fait partie des départements de l'ouest d'Haïti. La principale activité économique de cette région est l'agriculture, qui représente 85 % de la production nationale de maïs, 37 % de la production nationale de fruits, 34 % des bovins, des porcs et des chèvres du pays et 30 % des poulets, des canards, des dindes et des pintades. Chaque année, les exportations de la péninsule, rien que pour le secteur des « huiles essentielles », représentent au moins 25 millions de dollars É.U.

Malgré l'importance de ces exportations, il n'existe qu'une seule forme de communication terrestre entre la péninsule et ses principales villes avec la capitale du pays, Port-au-Prince.

La route nationale 2 (RN 2) est la route interministérielle du sud du réseau routier haï-

tien. Les principales villes auxquelles la RN 2 se connecte comprennent (d'ouest en est) Les Cayes, Aquin, Miragoâne, Léogâne, Petit-Goâve, Gressier, Carrefour et Port-au-Prince. Elle est longue de 186 km (118 miles) de Port-au-Prince aux Cayes. La RN 2 se connecte à la route départementale 25 (RD 25) et atteint l'extrémité ouest de la presqu'île de Tiburon.

Ce réseau routier est une route à deux voies dans les deux sens qui relie environ 3,5 millions de personnes (30 % de la population totale en Haïti), dont beaucoup vivent dans des zones sous-urbanisées ou rurales, sans accès à d'autres moyens de communication et d'échange de nourriture, de matériaux ou de services. Comme c'est la seule voie de communication dans le sud de la péninsule avec la capitale d'Haïti, de nombreux efforts d'entretien ont été effectués au fil des ans. Toutefois, ces efforts n'ont pas été suffisants car

La route nationale 2 (RN 2) est la route interministérielle du sud du réseau routier haïtien. Les principales villes auxquelles la RN 2 se connecte comprennent (d'ouest en est) **Les Cayes, Aquin, Miragoâne, Léogâne, Petit-Goâve, Gressier, Carrefour et Port-au-Prince**. Elle est longue de 186 km (118 miles) de Port-au-Prince aux Cayes.



la vulnérabilité de ces infrastructures aux risques météorologiques est extrêmement élevée.

Lors de la visite des sites de la côte sud de la péninsule sud, il a été observé une série de travaux d'ingénierie pour l'entretien et la protection de ces infrastructures. Une grande partie du travail est effondrée ou inachevée en raison d'une mauvaise planification et d'un manque de ressources financières.

Au total, huit sites ont été visités lors de missions sur le terrain, en tant que sites potentiels pour les solutions SFN, sélectionnés par l'équipe de la Banque mondiale et l'Unité centrale d'exécution (UCE) du Ministère des travaux publics, des transports et des communications du Gouvernement haïtien pour sa criticité et sa vulnérabilité. L'objectif des visites sur le terrain était de prioriser les deux principaux sites pour la mise en œuvre de l'ÉNB. Les dé-

tails de chaque site peuvent être trouvés dans le tableau 20 ci-après.

Parmi ceux-ci, deux sites (sites 1 et 4) ont été sélectionnés après une inspection sur le terrain et en fonction de plusieurs critères, comme suit :

- Il y avait des endroits où différentes mesures pouvaient être proposées, de sorte que lors de l'extrapolation de telles actions, celles-ci seraient appliquées dans une plus grande variété de sites ;
- Les mesures pourraient être exécutables et applicables en termes de temps, de coût et de résultat ;
- L'exécution des mesures pourrait se faire en utilisant une végétation endémique et des matériaux facilement trouvables en Haïti ;
- Les administrations publiques d'Haïti sont d'accord et sont d'avis que des actions sont nécessaires dans ces endroits.

Lors de la visite des sites de la côte sud de la péninsule sud, il a été observé une série de travaux d'ingénierie pour l'entretien et la protection de ces infrastructures. **Une grande partie du travail est effondrée ou inachevée en raison d'une mauvaise planification et d'un manque de ressources financières.**

 **Tableau 20:** Identification de sites pilotes en Haïti

Sites	Diagnostic initial	Solutions proposées
Le site 1 est situé sur la RN 2 dans la section des Zanglais, commune de Saint-Louis-du-Sud, arrondissement d'Aquin, département sud de Haïti.	Aucun ouvrage de drainage transversal n'est observé dans cette section. Le principal problème observé concerne la pente de la sous-pente et l'érosion de la pente supérieure, qui entraîne des risques de glissements de terrain en bloc.	Évaluation hydrologique, détermination des ouvrages de protection des pentes et de leurs ouvrages de drainage complémentaires et nécessité de travaux transversaux. Définition des structures de protection côtière et d'un remblai compact.
Le site 2 est situé sur la RN 2 dans le tronçon Solon, commune de Saint-Louis-du-Sud, arrondissement d'Aquin, Sud Département de Haïti.	Glissement de terrain possible, absence de travaux de drainage, observation de fissures sur la route et intercalations de calcaire et de marnes fracturées et altérées.	Évaluation hydrologique, détermination de la nécessité de travaux routiers transversaux et de lessive sur la pente.
Le site 3 est situé sur la RN 2 dans le tronçon Solon, commune de Saint-Louis-du-Sud, arrondissement d'Aquin, Sud Département de Haïti.	L'absence d'un programme approprié de gestion des ressources entraîne la contamination du sol, de l'air et de l'eau. L'accumulation de déchets entraîne également la génération de risques d'inondation, le manque d'entretien et donc la capacité de rejet du flux.	Évaluation hydrologique, Définition d'un programme d'entretien des gouttières.
Le site 4 est situé sur la RD 25 dans le tronçon de Blactote, commune de Tiburon, Chardonnières Arrondissement, Département Sud d'Haïti.	Probabilité d'éroder et de glisser le long de la pente jusqu'à la route, générant des impacts sur la mobilité et les infrastructures routières ; absence de travaux de drainage supplémentaires transversaux, pente de sous-pente et érosion de la pente supérieure ; génération d'érosion.	Évaluation hydrologique, définition de la nécessité d'ouvrages transversaux, de structures de protection côtière et d'un remblai compacté.
Le site 5 est situé sur la RD 25 dans le tronçon de Blactote, commune de Tiburon, Chardonnières Arrondissement, Département Sud d'Haïti.	Le sol n'est pas fixé (principalement par les racines des plantes), il est donc susceptible de s'éroder et de glisser le long de la pente, l'érosion de la côte est causée par les vagues, le niveau de déforestation est élevé, il n'y a pas de travaux de drainage transversal ou de blanchisseries qui rejettent partiellement le ruissellement, le détachement de blocs.	Évaluation hydrologique, définition des structures de protection des pentes, des structures de protection côtière et nécessité de travaux transversaux sur la route. Modification possible de la pente.
Le site 6 est situé sur la RD 25 dans le tronçon de Cosse, commune Les Zanglais, Chardonnières, Arrondissement, Département Sud d'Haïti.	Grande vitesse de ruissellement et d'érosion des systèmes de drainage et mise en place d'un système de stabilisation des pentes, émergence d'une fracturation et altération d'origine sédimentaire.	Évaluation hydrologique, restauration du mur de gabion, examen hydraulique des ouvrages de drainage existants, définition des fossés existants le long des travaux de drainage et des structures de dissipation d'énergie.
Le site 7 est situé sur la RD 25 dans le tronçon de Cosse, commune Les Zanglais, Chardonnières, Arrondissement, Département Sud d'Haïti.	Absence de systèmes de drainage appropriés ; des fossés sont observés à la fois dans les marges, l'aire de répartition ainsi que des dommages de la structure au site de déversement, manque d'entretien.	Évaluation hydrologique, Restauration du mur de gabion, Définition de l'examen hydraulique des travaux de drainage existants et des structures de dissipation d'énergie, Pose de la chaussée.
Le site 8 est situé sur la RD 25 dans la section de Boury, commune de Torbeck, arrondissement de Cayes, Sud Département d'Haïti.	Déforestation du bassin au-dessus de l'emplacement de grands ruissellements et de l'érosion des rives des berges, réduction de la capacité hydraulique de la section transversale du canal.	Évaluation hydrologique du bassin hydrographique, examen hydraulique du pont, rectification (dragage) de la section transversale en amont et en aval du pont seront définis, définir les travaux de protection des marges du chenal

5.4

Étape 4. conception et mise en œuvre des options de SFN



Objectif

Cette phase vise à orienter l'identification des risques climatiques et l'évaluation des dangers qu'ils présentent pour les ressources et les infrastructures routières. Le choix des interventions dépend en partie des risques côtiers qui prévalent sur le site sélectionné.



Mobilisation des parties prenantes

La mobilisation des parties prenantes doit intervenir en complément de la phase de collecte de données et garantir l'utilisation des meilleures données disponibles pour le site sélectionné.



Résultat

Une liste succincte d'interventions réalisables sur les plans technique, économique, social et environnemental, précisant les coûts approximatifs à des fins de comparaison.

Activités principales

1. Entreprendre la conception détaillée des interventions sélectionnées

Les variables de conception nécessaires à cette étape seront tirées des résultats des évaluations des dangers entreprises dans le cadre de l'étape 2. À l'aide de ces variables, les détails des différentes mesures (longueur, taille, type de matériaux à utiliser, etc.) seront identifiés. Il est important de tenir compte des principes et des garanties pour les options NBS et hybrides sélectionnées tout au long des étapes de conception et de mise en œuvre. Une liste des solutions possibles se trouve à la section 3 et dans le Catalogue des solutions SFN à la section 7. Le choix de l'intervention devrait être fondé sur une révision de :

- L'exposition du site à des charges environnementales telles que le vent, les vagues, les courants, les niveaux d'eau.
- Utilisation des terres (actuelle et future).
- Type et état de l'estran.

- Questions géotechniques telles que la profondeur et le type de matériau fondateur, et sa susceptibilité à l'érosion.
- L'état environnemental du site et de ses environs; et
- La disponibilité de l'approvisionnement en matériel.

2. Préparer le plan de gestion de la mise en œuvre et les enquêtes préalables à la mise en œuvre

Le plan de gestion de la mise en œuvre sera basé sur le type de matériel à utiliser pour le site d'intervention spécifique. Si des solutions purement NBS sont envisagées, des plans de restauration ou de gestion de la conservation seront élaborés. Si une combinaison de NBS et de structures d'ingénierie dure est envisagée, des plans de gestion de la construction seront nécessaires. Dans le cadre de cette étape, des enquêtes supplémentaires qui pourraient être nécessaires avant le début de la mise en œuvre seront entreprises.



Encadré 5.6

Les parties prenantes qui doivent être impliquées dans la conception et la mise en œuvre des interventions de SFN en Haïti incluent :

- Le ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC)
- Le ministère de l'Environnement (MDE)
- Le ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR)
- Le Conseil d'Administration de la Section Communale (CASEC)
- Les collectivités territoriales
- Les organisations d'agriculteurs et riverains
- Les organisations de pêcheurs et riverains
- Organisations d'agriculteurs et riverains
- Organisations de pêcheurs et riverains



Étude de cas

Ensembles de conception pour deux sites pilotes en Haïti

Two sites in the South of the country were selected as pilot sites for the design of NBS as described in case studies of Step 2 and 3.

- Site 1 : RN2 dans le tronçon des Zanglais, commune de Saint-Louis-du-Sud
- Site 4 : RD25 dans la section de Blactote, communauté de Tiburon

D'après les diagnostics initiaux, il était clair que les deux sites présentaient des problèmes similaires. Les solutions proposées sont les mêmes pour les deux sites et comportent :

- L'évaluation hydrologique du site pour analyser les effets du ruissellement des bassins intérieurs ;
- La définition des ouvrages de protection des pentes et de leurs travaux de drainage complémentaires, tels que gouttières et fossés ;
- La détermination de la nécessité de travaux transversaux sur la route ;
- La définition des structures de protection côtière pour prévenir l'érosion ;
- La définition d'un remblai compacté (qui pourrait être renforcé avec du géotextile) dans la pente inférieure, selon les « Spécifications Pour Couche », compacté à 100 % de son PVSM formant des terrasses vertes, qui devraient être protégées par du géotextile pour éviter l'érosion.



Site 4. Blactote

Le site 2 est situé à 4,1 km de Tiburon, sur la ligne côtière de la péninsule de Tiburon. La probabilité d'érosion et de glissement sur le versant de la route, générant des impacts sur la mobilité et l'infrastructure routière, l'absence de travaux de drainage supplémentaires transversaux, l'érosion du talus et de la partie supérieure du versant, la génération d'érosion.



Site 1. Des Zanglais

Aucun ouvrage de drainage transversal n'est observé dans cette section. Le principal problème observé est la pente de sous-cotation et l'érosion dans la pente supérieure, ce qui entraîne des risques de glissements de terrain bloqués.



- Sites
- Route Primaire et Secondaire
- Sites sélectionnée

D'après les diagnostics initiaux, il était clair que les deux sites présentaient des problèmes similaires. **Les solutions proposées sont les mêmes pour les deux sites**

Solutions finales adoptées

Conformément à ce qui a été observé sur le terrain et à l'analyse technique, la pente supérieure (côté montagne) est considérée comme stable dans des conditions drainées statiques, même sous les effets de l'érosion. Dans des conditions statiques saturées, la pente est à un état naissant de défaut. Dans des conditions sismiques, la pente démontre d'un comportement instable. La faille de pente dans les deux conditions précédentes se produira à son sommet.

Ainsi, afin de protéger la pente supérieure dans la situation la plus critique (conditions saturées), les mesures ci-après ont été proposées :

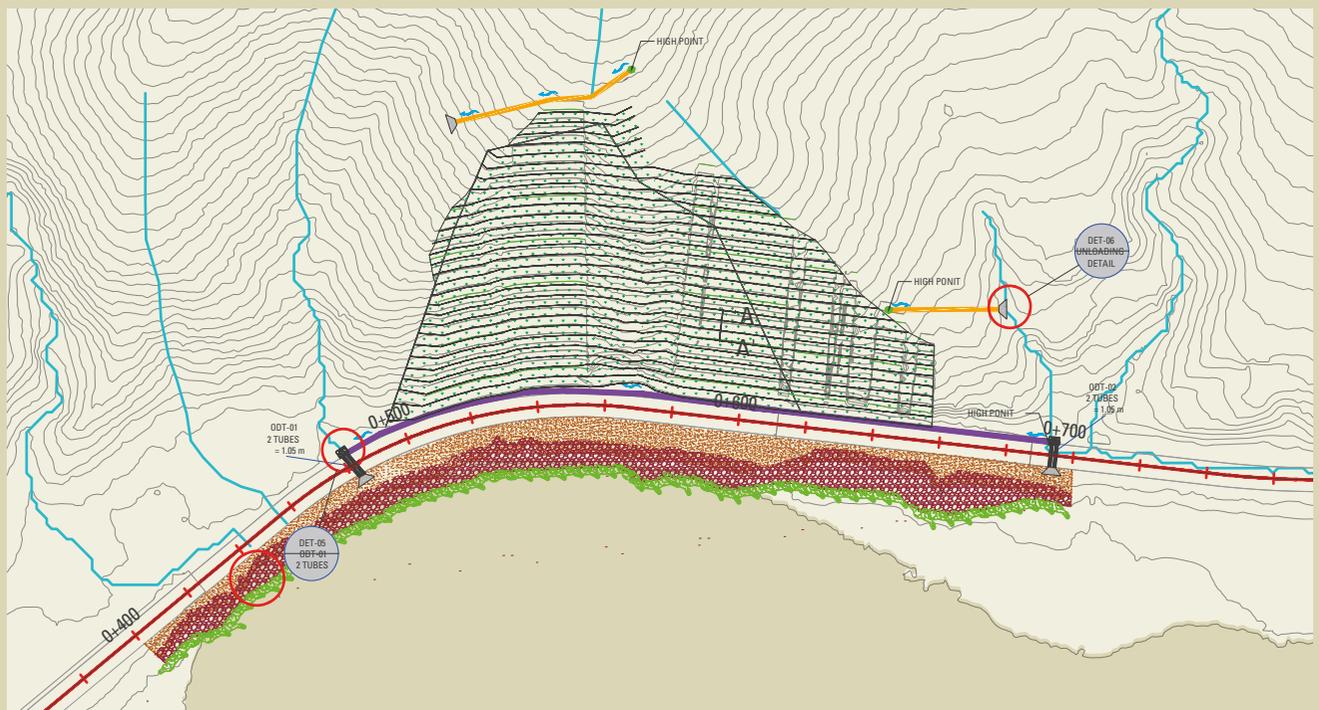
- Couper et profiler la pente à une inclinaison de 38° (1,28: 1 - H: V) pour le site 1 et 30° (1: 0,6 - H: V) pour le site 2
- Inclure des travaux de drainage complémentaires (gouttières, canaux) pour réduire la pression intérieure

- Installer un système de protection contre l'érosion et promouvoir la croissance de la végétation à partir de revêtements déversant des saules

De même, le versant inférieur ou côtier est stable dans des conditions statiques et dynamiques, ainsi que saturé et drainé. Cependant, il est exposé à l'effet de l'érosion par les vagues. Les mesures ci-après ont donc été proposées pour protéger le côté maritime de la route :

- Construction d'un remblai avec le matériau résultant des actions développées dans la pente supérieure ;
- Construction d'un revêtement avec une pente 2: 1 (H: V) ;
- Revégétalisation des mangroves.

Figure 17: Conception finale dans le site 1, Des Zanglais



Les figures 17 et 18 illustrent les **vues en plan des conceptions finales envisagées pour les deux sites**

Figure 16: Illustration de la protection des pentes côtières

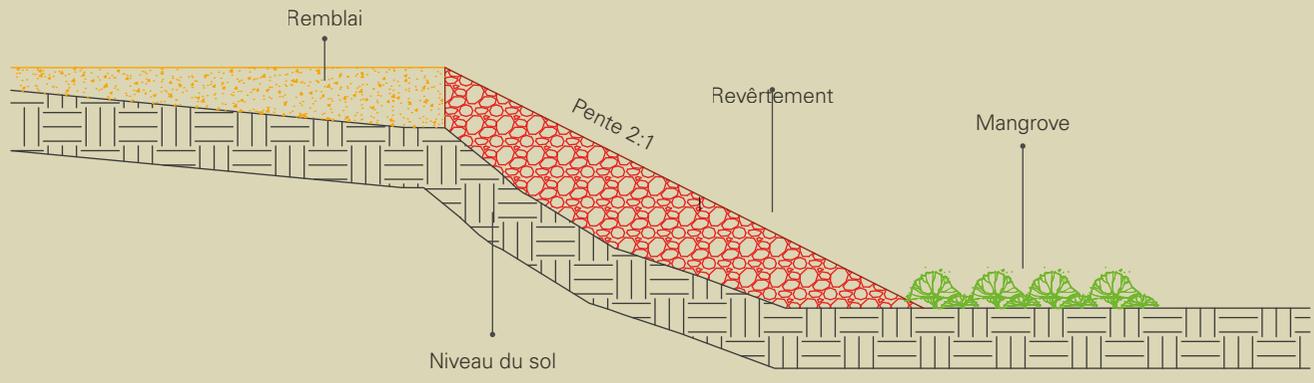
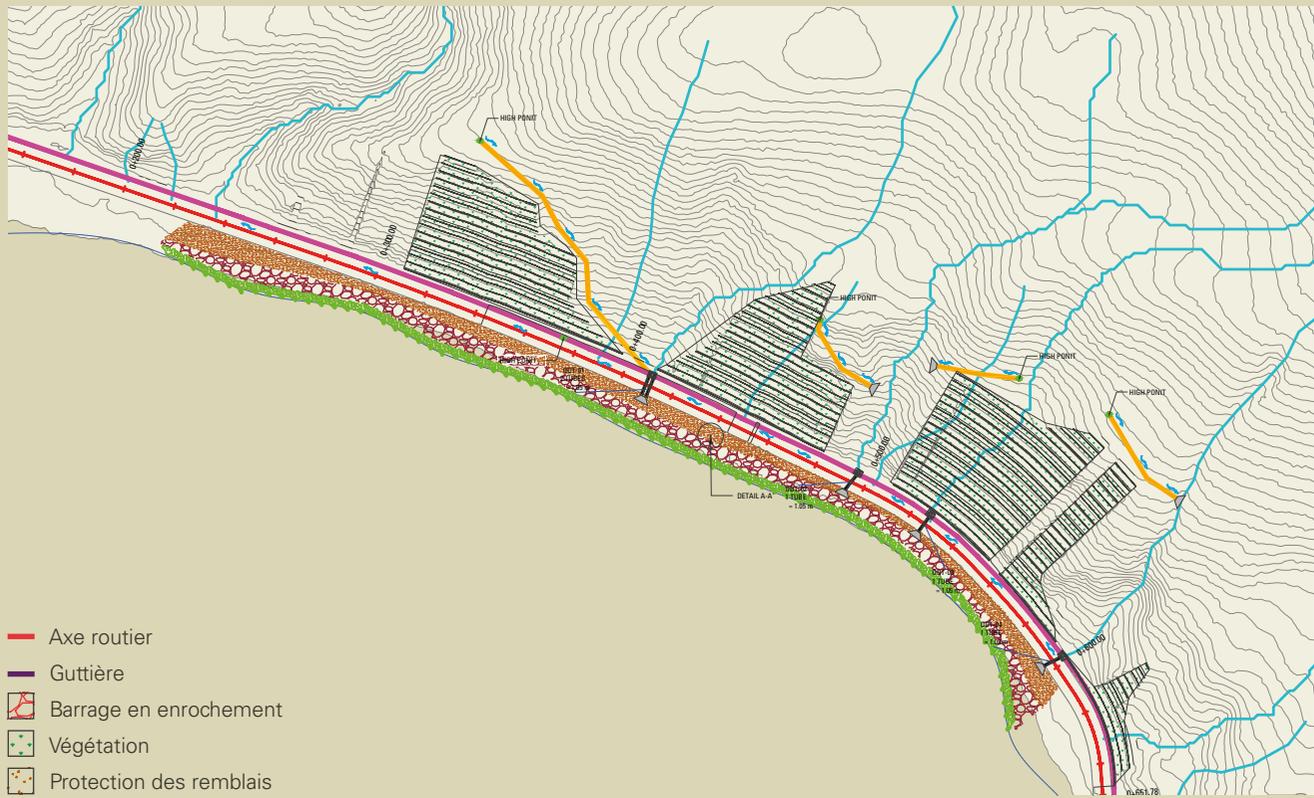


Figure 18: Conception finale dans le site 4, Blactote



- Axe routier
- Guttière
- Barrage en enrochement
- Végétation
- Protection des remblais



5.5

Step 5. Suivi, évaluation et entretien des options de SFN



Objectif

Des activités de suivi doivent être menées pendant et après la mise en œuvre des SFN pour vérifier que les résultats prévus ont été atteints et sont efficaces. Le suivi et l'évaluation permettent également d'enregistrer les enseignements tirés en vue d'une utilisation ultérieure, pour pouvoir reproduire les pratiques couronnées de succès.



Mobilisation des parties prenantes

La mobilisation des parties prenantes est indispensable au suivi, à l'évaluation et à l'entretien des SFN. Les communautés locales peuvent être impliquées dans les processus de suivi à l'aide de méthodes et d'équipements simples et abordables³⁷. Une sensibilisation sera nécessaire pour accroître les capacités et la compréhension des communautés locales en ce qui concerne l'importance des SFN et de leur entretien.



Résultat

Un cadre de suivi et d'évaluation réaliste, opérationnel et itératif, incluant un protocole standardisé de recueil et d'évaluation des données, et la production d'informations sur les résultats et les impacts des interventions.

Principales activités:

1. Définition des indicateurs d'évaluation des performances

Une fois les SFN mises en œuvre, il est important de pouvoir contrôler leur efficacité. Ce contrôle permettra de déterminer le type d'entretien nécessaire pour améliorer les performances de la solution afin d'atteindre les résultats escomptés en matière de résilience des routes. Les principaux facteurs de performance et indicateurs d'évaluation doivent par conséquent être définis et convenus au stade de la conception et doivent être contrôlés après la mise en œuvre des SFN.

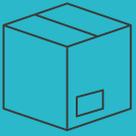
Trois types d'indicateurs sont recommandés pour l'évaluation des solutions, afin de mesurer correctement les performances : 1) au niveau du processus (comment faire ?) ; 2) au niveau de la réalisation (les produits mesurables ont-ils été réalisés ?) ; et 3) au niveau du résultat (les objectifs sont-ils atteints ?). Il est important que les indicateurs reflètent la mesure mise en œuvre et le niveau de réduction du danger qu'elle vise à atténuer. Le tableau 23 ci-après présente une liste d'exemples d'indicateurs pour les mesures de protection du littoral. La définition des indicateurs de performance dépend du type de solution mise en œuvre et du contexte propre au site.

Une fois les SFN mises en œuvre, il est important de pouvoir contrôler leur efficacité. Ce contrôle permettra de déterminer le type d'entretien nécessaire pour améliorer les performances de la solution afin d'atteindre les résultats escomptés en matière de résilience des routes.



 **Tableau 23:** Exemple d'indicateurs liés aux mesures de protection du littoral

Objectif des mesures d'adaptation	Mesure	Type d'indicateur	Indicateur
Protection des plages et des dunes contre l'érosion liée à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête	Reconstitution des plages	Réalisation	<ul style="list-style-type: none"> Volume de sable sur la plage et dans les dunes
	Restauration des dunes	Processus	<ul style="list-style-type: none"> Recul du rivage en m/an
		Résultat	<ul style="list-style-type: none"> Pourcentage de zones touchées par l'érosion des sols/ la dégradation de la qualité des sols Pourcentage de route perturbée (par exemple, en nombre de jours pendant lesquels la route n'est pas opérationnelle)
	Restauration des mangroves	Résultat	<ul style="list-style-type: none"> Pourcentage de terres exposées à des risques d'inondation
	Réalignement contrôlé du littoral	Résultat	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de personnes directement touchées (évacuées, relocalisées, blessées ou malades) par les inondations pour 100 000 habitant Pourcentage de route perturbée (par exemple, en nombre de jours pendant lesquels la route n'est pas opérationnelle)
	Stabilisation des pentes côtières	Résultat	<ul style="list-style-type: none"> Pourcentage du réseau routier protégé contre les conditions/ phénomènes météorologiques extrêmes Pourcentage de route perturbée (par exemple, en nombre de jours pendant lesquels la route n'est pas opérationnelle)



Encadré 5.7

Suivi de la restauration des mangroves

Les zones de restauration des mangroves peuvent être situées du rivage/littoral ou dans l'arrière-pays et la surveillance des mangroves doit donc être envisagée à l'échelle de la gestion intégrée des zones côtières et dans le cadre de l'aménagement du territoire de ces zones. Les zones de reboisement de mangroves sont souvent situées dans des aires protégées en Jamaïque et il est donc également essentiel que le plan de suivi soit intégré dans le plan d'aménagement de la zone. Les facteurs de performance et les paramètres d'évaluation suivants doivent être pris en compte :



Largeur, hauteur, densité, structure, âge et rigidité de la végétation, orientation par rapport à la direction des tempêtes, continuité, santé du système racinaire et longueur.



Largeur de la forêt et densité du système racinaire exposé (ceci est très important pour l'efficacité en termes d'atténuation des vagues)



Profondeur de l'eau



Composition des sédiments (besoin d'une source continue de sédiments) ; prédation des semis/transplantation de jeunes arbres

2. Choix des méthodes de suivi

Le suivi des SFN visant les infrastructures routières nécessite d'employer des méthodes de surveillance des infrastructures et de l'environnement écologique et social. Bon nombre des méthodes actuellement utilisées pour le suivi sont assez complexes et nécessitent des équipements coûteux et des compétences scientifiques spécialisées. Il existe cependant des méthodes de suivi basées sur la communauté, qui sont abordables et faciles à utiliser.

Les communautés jouent un rôle particulièrement important dans les processus de suivi. Le présent guide se concentre donc sur les méthodes de suivi appropriées, qui impliquent les groupes communautaires et requièrent des techniques simples et des équipements abordables. Celles-ci incluent :

- **Une inspection visuelle de l'écosystème et des infrastructures :** L'objectif principal est d'observer l'état de l'écosystème (par exemple la croissance de la végétation ou la survie des semis de mangrove) et la fluctuation naturelle de la morphologie de la plage (par exemple le niveau d'érosion côtière), et de comprendre

les changements à long terme et saisonniers. En parallèle, il est important d'observer les infrastructures routières que protège la SFN et de documenter toute modification de leur état.

- **Des relevés de profil de plage :** L'objectif principal est de déterminer quantitativement la réaction des plages aux tempêtes, les taux de reconstitution des plages, les changements de volume à long terme et les zones d'érosion potentielle. Ces relevés peuvent être réalisés à l'aide de diverses technologies, y compris par le nivellement traditionnel. Ils doivent être géoréférencés à l'aide d'un GPS approprié.
- **Des photographies :** L'objectif principal est de documenter l'évolution et l'état des écosystèmes et des infrastructures. La photographie est une technique de suivi utile qui repose sur la définition de différents lieux où l'on peut prendre des photos reproductibles à peu près à la même époque de l'année et dans des conditions de marée similaires, de préférence à proximité d'une marée basse.

Le tableau 24 ci-après présente un programme de suivi recommandé pour la surveillance des écosystèmes et des infrastructures.

 **Tableau 24:** Proposition de programme de suivi pour la surveillance des écosystèmes et des infrastructures

Suivi	Inspection visuelle	Relevés de profil de plage	Photographies
Durant les deux premières années suivant la construction	Deux fois par an	Deux fois par an	Deux fois par an
À partir de la troisième année	Une fois par an	Deux fois par an ou à redéfinir	Une fois par an
Après une tempête	Dès que possible après une tempête		

 **Tableau 25:** Exemples d'éléments clés inclus dans un plan de gestion pour la restauration des mangroves

Résultats	Restauration des mangroves
Activités	Sensibiliser les habitants à la nécessité de conserver les mangroves restantes
Phase du projet	Durant toutes les phases de l'action
Indicateurs de performance	Aucune activité d'extraction n'est enregistrée dans les formations naturelles des mangroves
Calendrier	Dès le début de la mise en œuvre du plan de restauration
Coût estimé	10 000 \$ É.-U.

 **Tableau 26:** Description des besoins d'entretien courant pour différentes interventions

Option de SFN	Entretien requis
Reconstitution des plages	Reconstitution à l'aide de matériaux supplémentaires pour remplacer ceux qui ont été perdus par l'érosion et le transport de sédiments. Les matériaux de reconstitution doivent être conformes à ceux utilisés à l'origine dans le cadre de la conception et aux hauteurs de pente et de crête définies dans le plan
Restauration des mangroves	Élimination des saletés (par exemple, filets de pêche, déchets, frondes d'algues échouées)
Brise-lames	Remplacement des enrochements de protection manquants et remise en place des rochers déplacés pour maintenir trois points de contact
Plantation de végétation sur la plage	Désherbage et élimination des espèces envahissantes. Selon les espèces plantées, certaines peuvent nécessiter d'être taillées ou élaguées plus régulièrement La végétation de plage peut aussi souvent piéger des déchets laissés par ses utilisateurs ou apportés par la marée. Un entretien régulier sera donc probablement nécessaire pour nettoyer la plage

3. Exploitation et entretien des SFN

Une fois les SFN mises en œuvre, il est important d'élaborer un plan de gestion pour fournir des lignes directrices relatives à leur exploitation et à leur entretien. Il est recommandé que le plan de gestion couvre les éléments suivants :

- Présentation de la SFN et de ses caractéristiques ;
 - Informations de base sur l'écosystème, notamment les niveaux d'eau, la morphologie des plages, les propriétés des sédiments (taille des grains, etc.), le transport des sédiments et la sensibilité des écosystèmes ;
 - Un tableau incluant les résultats du projet, les activités prévues, le stade du projet où l'activité sera réalisée, l'indicateur de performance, le calendrier et le coût estimé (voir tableau 25 ci-après).
- **L'entretien régulier** : Il implique l'entretien et le suivi constants du projet achevé et la prévention proactive de la détérioration en assurant un entretien de routine. Celui-ci doit être inclus dans le budget du projet et pris en compte lors du choix d'une intervention appropriée, car certaines d'entre elles ont des exigences d'entretien beaucoup plus coûteuses et peuvent donc modifier l'évaluation économique de l'option. Le tableau 26 ci-après mentionne l'entretien courant susceptible d'être requis pour certaines SFN.
 - **Entretien après un événement** : L'entretien ou la réparation effectuée après une tempête. Par exemple, le remplacement de rochers délogés d'un brise-lames ou, dans certains cas, la reconstitution d'une plage après une tempête.

Le plan de gestion de la SFN doit prendre en compte deux types d'entretien : i) l'entretien régulier et ii) l'entretien de la SFN après un événement.

L'entretien régulier doit être inclus dans le budget du projet et pris en compte lors du choix d'une intervention appropriée, car certaines d'entre elles ont des exigences d'entretien beaucoup plus coûteuses et peuvent donc modifier l'évaluation économique de l'option.







6. MOBILISATION DES PARTIES PRENANTES

- 6.1** Mobilisation des parties prenantes et SFN
- 6.2** Étapes de mobilisation des parties prenantes
- 6.3** Identification de les parties prenantes
- 6.4** Recommendations

6.1

Mobilisation des parties prenantes et SFN

La mobilisation des parties prenantes consiste à consulter celles-ci et à les influencer dans l'intérêt général du projet, des communautés et des écosystèmes. Il est essentiel d'inclure diverses approches, comme la consultation, la communication, la négociation, les compromis et la création de liens.

Dans le cadre des SFN, les meilleures pratiques en matière de mobilisation des parties

prenantes incluent la mise en œuvre des interventions de SFN par le biais de processus participatifs au niveau de la communauté et du paysage. Ces processus ne seront couronnés de succès que si des activités de sensibilisation et de renforcement des capacités sont organisées et des stratégies de communication élaborées de manière appropriée. Ces divers points sont expliqués ci-après.

Tableau 26 : Approches pour l'engagement des parties prenantes

Processus participatifs	Élément clé d'une consultation et d'une participation significatives. Ces processus doivent commencer tôt dans le processus d'identification et de planification du projet afin de recueillir les points de vue initiaux. Ils doivent encourager la rétroaction et la participation des intervenants à la conception et à la mise en œuvre du projet, assurer la transparence et répondre à la rétroaction.
Sensibilisation	Visant à accroître la sensibilité à l'importance de la mise en œuvre et du maintien de l'ÉNB au fil du temps et à la protection de l'infrastructure et de la façon dont elle profite aux communautés et aux écosystèmes locaux. Cela peut se faire par le biais de campagnes, de publications, de produits médiatiques, d'activités de volontariat, entre autres, en tenant compte de l'ensemble de la communauté: entreprises, autorités locales, écoles, ONG, universités, société civile
Renforcement	Visant à accroître les connaissances techniques liées à l'ÉNB, en comprenant que la sensibilité et l'engagement doivent avoir une base techniquement solide. Les autorités locales, le personnel technique et les communautés doivent savoir comment fonctionnent les SNB, comment ils sont conçus, quels sont les risques qu'ils comportent, y compris les questions environnementales et sociales, quelles sont les exigences en matière d'exploitation et d'éducation et comment répondre aux imprévus.
Stratégies de communication	Étroitement liées aux trois aspects ci-dessus, ces stratégies devraient prendre la forme d'un plan qui détermine le meilleur moment et la meilleure façon de parvenir à un consensus sur les décisions avec les parties prenantes. Une stratégie de communication devrait prendre en compte des aspects tels que les modalités de dialogue, les groupes cibles, la langue, les messages culturellement appropriés, l'identification des sujets sensibles au niveau local, la transparence.



6.2

Étapes de mobilisation des parties prenantes

La coordination des activités des SFN (de la planification à la mise en œuvre et au suivi) entre les différents niveaux de gouvernement et avec les divers secteurs et acteurs sera nécessaire pour atteindre les objectifs. Les étapes de mobilisation des parties prenantes sont schématisées ci-dessous.

La première étape consiste à identifier les parties prenantes. La qualité de cette identification peut avoir une incidence sur la portée et l'échelle de la stratégie des SFN, et peut aider à déterminer les options les plus appropriées. Dans le contexte des SFN, les parties prenantes incluront généralement les communautés locales, les acteurs économiques locaux,

les partenaires de mise en œuvre du projet, les autorités locales (départements, arrondissements, communes, sections communales), les institutions universitaires locales, le personnel technique local et les décideurs et responsables politiques au niveau national. En Haïti, ces derniers pourraient être le Ministère de l'environnement, le Ministère du tourisme et le Ministère de l'urbanisme.

Pour ce qui relève des acteurs économiques, il est essentiel de tenir compte du fait que le territoire d'Haïti abrite de nombreuses activités. Les côtes du pays sont le lieu d'activités telles que la pêche, le commerce local, le tourisme et l'exploitation des forêts de mangroves. Dans

l'arrière-pays, les activités agricoles se heurtent aux contraintes liées à l'environnement montagneux (80 % du territoire est montagneux, avec plus de 75 % de pentes supérieures à 20 %, et est très touché par la déforestation et l'érosion qui en résulte), à l'exception des produits agropastoraux du Plateau central. Certaines des parties prenantes sont organisées en associations, par exemple des associations de pêcheurs et des coopératives de producteurs de vétiver. Il est fondamental d'inciter le secteur privé à s'impliquer dans les SFN.

Le schéma ci-dessus indique le type d'outils qui peuvent être utilisés pour promouvoir la participation à chaque étape : évaluation rurale

participative, cartographie, ateliers. La trousse à outils qui figure à la fin de la présente section fournit quelques ressources pour étudier les différentes méthodologies.

Certaines des parties prenantes sont organisées en associations, par exemple des associations de pêcheurs et des coopératives de producteurs de vétiver. **Il est fondamental d'inciter le secteur privé à s'impliquer dans les SFN.**

Figure 20 : Étapes de l'engagement des parties prenantes



6.3

Identification de les parties prenantes

Les parties prenantes, à différents niveaux et étapes, sont cruciales pour la réussite d'un projet d'adaptation et, comme décrit précédemment, elles doivent être impliquées dès les étapes de planification tout au long du processus global. Les parties prenantes peuvent inclure des institutions gouvernementales nationales et locales, des communautés, des organisations non gouvernementales, des instituts de recherche ou le secteur privé. Le niveau de participation des parties prenantes dépendra de la phase du pro-

cessus et des parties prenantes spécifiques impliquées : consultation, gestion, coordination, mise en œuvre, suivi et évaluation.

Une analyse approfondie des parties prenantes et l'élaboration de processus multipartites et de mécanismes participatifs sont essentielles pour assurer l'appropriation et la durabilité des interventions NBS.

Le tableau 26 présente un exemple des parties prenantes potentiels et leurs rôles dans la mise en œuvre des interventions en matière de NBS.

 **Tableau 27:** Les parties prenantes et leur rôle dans la mise en œuvre des interventions NBS

Parties prenantes	Rôles
Gouvernement national et ministères (p. ex. agriculture, santé, environnement, éducation); systèmes d'alerte précoce et institutions de prévention des catastrophes	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre en œuvre des politiques, des programmes et des plans sectoriels • Renforcer les capacités et développer des mécanismes efficaces pour résoudre les problèmes locaux • Assurer la capacité technique • Prévoir un budget pour les interventions • Superviser la mise en œuvre des interventions
Gouvernements locaux	<ul style="list-style-type: none"> • Développer les capacités locales • Financer des plans et des programmes locaux favorisant les interventions de l'ÉNB
Centres de recherche et universités	<ul style="list-style-type: none"> • Comblent les lacunes en matière de connaissances et d'information nécessaires à la conception et à la mise en œuvre des interventions de l'ÉNB • Élaborer des protocoles et des lignes directrices pour la mise en œuvre des interventions de l'ÉNB • Participer au suivi et à l'évaluation des mesures de l'ÉNB
ONG locales de développement et d'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Faciliter l'organisation et la participation des populations locales et • Développer les capacités (p. ex., techniques, financières, humaines, institutionnelles) • Renforcer les institutions locales telles que les groupes communautaires
Communautés locales	<ul style="list-style-type: none"> • Participer à la mise en œuvre, à la gestion et au suivi des mesures de l'ONB à mettre en œuvre



6.4

Recommandations

L'expérience tirée de l'implication des parties prenantes dans les SFN en Haïti et dans d'autres parties du monde a révélé que ce processus sera plus fructueux si les points ci-après sont respectés :

- Identifier, informer et impliquer les structures d'intervention locales dans la mise en œuvre des SFN ;
- Impliquer toutes les communautés voisines en amont et en aval des écosystèmes de montagne et toutes les communautés qui vivent dans des écosystèmes côtiers ou qui en dépendent ;
- Collaborer avec des organisations locales auxquelles les communautés font confiance peut aider à renforcer la cohésion sociale ;
- Attribuer des ressources pour faire face aux défis logistiques si les communautés sont dispersées et desservies par des infrastructures médiocres ;
- Il est important que l'équipe du projet soit prête à remettre en question les hypothèses sur les stratégies de subsistance, en ayant des discussions inclusives avec les membres de toutes les parties de la communauté, y compris les femmes, les jeunes et les groupes minoritaires ;
- Il est très important d'obtenir et d'offrir des résultats à court terme (en l'espace de quelques mois) pour maintenir la motivation de la communauté et les facteurs décisifs concernant l'approche fondée sur les écosystèmes ;
- Les communautés sont motivées par l'échange de pratiques d'excellence avec des communautés d'autres régions du pays ou d'autres pays. Identifier des pratiques d'excellence et organiser des activités dans lesquelles les parties prenantes peuvent soumettre des exemples à suivre, retirer des enseignements de la part des autres et créer des réseaux de collaboration.

Il est important que l'équipe du projet soit prête à remettre en question les hypothèses sur les stratégies de subsistance, en ayant **des discussions inclusives avec les membres de toutes les parties de la communauté, y compris les femmes, les jeunes et les groupes minoritaires**



Encadré 6.1

Exemple montrant que la vision des communautés sur le choix des espèces peut jouer un rôle déterminant dans le succès de la SFN : le cas du vétiver

D'un point de vue technique, la plantation de vétiver est l'une des meilleures options pour la stabilisation des pentes en Haïti. Cependant, le vétiver est en même temps l'un des produits les plus exportés d'Haïti en raison de son intérêt pour l'industrie du parfum, et constitue une source de revenus très importante pour un grand nombre de petits agriculteurs. Beaucoup d'entre eux dépendent du vétiver pour leur subsistance. Il est donc important de collaborer avec les communautés sur la pertinence de la sélection du vétiver pour la restauration du couvert végétal sur les pentes, afin de garantir la viabilité de la mesure de protection. La promotion d'une culture durable du vétiver pourrait être une solution intermédiaire. Il existe plusieurs initiatives dans le pays qui contribuent à rendre la filière du vétiver plus durable : préservation des ressources (sol, eau, etc.), amélioration et diversification des revenus des producteurs, et renforcement des capacités des parties prenantes dans la gestion des bassins versants.



Encadré 6.2

Aspects sexospécifiques

Pour parvenir à impliquer activement les hommes comme les femmes, il est impératif de :

- Employer un langage inclusif dans tous les appels et toutes les activités de sensibilisation, afin de s'adresser explicitement aux hommes et aux femmes.
- Etablir des calendriers de réunions en tenant compte des possibilités de participation des hommes et des femmes.
- Etablir des calendriers spécifiques pour les réunions ciblant les femmes.
- Permettre aux femmes de s'exprimer dans le cadre de processus participatifs, afin qu'elles puissent faire connaître leurs besoins.
- Créer des espaces d'accueil ponctuels afin que les femmes puissent participer aux réunions et aux activités (en tenant compte de la structure de répartition des tâches entre les hommes et les femmes).
- Toujours extraire les données et les résultats ventilés par sexe.
- Définir des possibilités d'emploi pour les femmes dans le cadre des activités du projet et à long terme. Il est important de rappeler que la Constitution de 1987, modifiée en 2011, établit le principe d'un quota d'au moins 30 % de femmes dans toutes les activités de la vie nationale, notamment dans les services publics.



Étude de cas

Les SFN et la mobilisation des parties prenantes dans le cadre des travaux effectués sur la route reliant Les Cayes à Jérémie

1. Contexte

Dans le cadre du programme de réhabilitation des infrastructures routières pour l'intégration du territoire, mis en œuvre par le gouvernement haïtien et financé par la Banque interaméricaine de développement (BID) et l'Agence canadienne de développement international (ACDI), les départements du sud et de Grand'Anse ont bénéficié du projet de réhabilitation de la Route nationale 7 (RN7) reliant les villes des Cayes et de Jérémie.

Au sein du gouvernement haïtien, le Ministère des travaux publics, transports et communications (MTPTC) est responsable des infrastructures de transport et a été le maître d'ouvrage du projet par l'intermédiaire de l'Unité centrale d'exécution (UCE).

Le projet de route Les Cayes/Jérémie s'étend sur une longueur d'environ 79 km (voir figure 9 ci-après). La zone d'étude est caractérisée par la présence de deux types de relief : un relief plat caractéristique des plaines côtières et un relief sinueux avec des pentes raides, ressemblant à un relief montagneux. Cette zone est traversée par le massif de La Hotte, qui inclut le Pic Macaya, dont les sommets culminent à 2 347 mètres. Le segment concerné par les travaux est traversé par plusieurs cours d'eau.

Dans le cadre des analyses de risques, 47 zones sensibles à l'érosion ont été identifiées. Ces zones sont situées le long de segments de route à forte pente. En outre, le type de sol, l'abondance des précipitations et l'absence de végétation sont des facteurs qui contribuent à amplifier l'érosion.

En raison de leur position géographique, les départements du Sud et de Grand'Anse sont exposés à des risques sismiques considérés comme importants. Enfin, comme dans le reste du pays, cette zone est exposée aux ouragans, qui provoquent des inondations, des glissements de terrain et des chutes de pierres.

Il existe de nombreuses zones protégées de grande valeur, et l'agriculture et l'agroforesterie sont les principales activités le long de ce tronçon.

Le projet inclut de précieux exemples d'interventions liées à la participation des communautés locales et à la mise en œuvre de mesures de SFN pour la protection des pentes. Ces aspects sont décrits ci-après.

Dans le cadre des actions de plantation et de protection des talus, plusieurs actions ont été menées avec succès pour impliquer les communautés locales :

- **Consultations, sensibilisation :** Outre les séances de consultation publique formelles et informelles avec les communautés locales avant le début des travaux, puis pendant et après la phase de construction, des séances de formation sur les techniques de plantation d'arbres et des séances de sensibilisation à la protection de l'environnement ont été organisées pour la communauté.
- **Responsables des actions :** Les organisations locales ont été chargées de la mise en œuvre du projet de plantation.



Figure 9: Emplacement du projet Les Cayes/Jérémie
Source: SMi – BID, mars 2013

- Lot 1
- Lot 2

- **Prise en compte de l'opinion de la communauté pour le choix des espèces :** des enquêtes ont été menées dans chaque localité. Elles ont révélé l'intérêt des populations pour les arbres fruitiers, en plus des arbres forestiers. Le choix des espèces s'est fait en tenant compte des éléments suivants :
 - a. Arbres fruitiers dont les fruits ont une grande valeur marchande et qui sont très demandés et consommés au niveau des départements du sud et de Grand'Anse, ainsi qu'au niveau national (mangue, avocat, orange, etc.).
 - b. Arbres forestiers ayant une croissance relativement rapide, qui peuvent être utilisés comme bois d'œuvre par les bénéficiaires directs et par d'autres menuisiers.
 - c. Arbres fruitiers et forestiers déjà existants au niveau des régions concernées par le projet.
 - d. L'enquête officielle menée dans les localités situées le long du parcours.
- **Achats dans la communauté :** Identification de tous les producteurs qui possèdent des pépinières, dont beaucoup ont bénéficié des achats d'espèces pour le projet de plantation. De la même manière, le projet visait à

intégrer toutes les petites entreprises de la région dans la réalisation des travaux.

- **Population impliquée :** Outre les représentants locaux, la population concernée par les travaux de remblaiement dans les différentes localités du segment a participé activement au projet, assurant ainsi une meilleure prise en charge à long terme par l'ensemble de la communauté.
- **Création d'emplois au niveau local :** L'emploi des habitants des communautés sur le chantier de construction a été encouragé.
- **Emploi des femmes :** Un effort particulier a été fait pour trouver des opportunités d'emploi pour les femmes des communautés dans le cadre du projet et pour atteindre l'objectif de 30 % de femmes défini par la loi haïtienne. Elles ont par exemple travaillé dans la restauration pour nourrir tout le personnel, les responsables du projet ayant décidé de promouvoir leur emploi au lieu de faire appel à une grande entreprise. Dans une moindre mesure, elles ont transporté des pierres ou de l'eau, et ont conduit des camions et des bulldozers.

2. Solutions fondées sur la nature, sept ans plus tard

Grâce aux missions de supervision entreprises par l'UCE sur le terrain, il est possible d'affirmer que les travaux de restauration du couvert végétal et les installations en pierres sèches réalisés en 2012 sont toujours en bon état, sept ans plus tard. Non

seulement les communautés ont préservé les espaces grâce au reboisement effectué, mais les travaux continuent à assurer une protection contre l'érosion. Les photos ci-dessous indiquent l'état des différents développements en février 2020.



Figure 23: Solutions fonde sur la nature le long la route Les Cayes-JEremei (source : Unite Central Exécution -MTPTC)







3. Enseignements tirés : l'importance de pouvoir adapter la méthodologie de consultation dans les situations restrictives

La communication avec les parties prenantes du projet doit être maintenue et entretenue, même dans les contextes de crise où les circonstances peuvent empêcher les consultations de se dérouler de la manière habituelle.

C'est ce qui s'est produit, par exemple, dans le cas du processus de consultation du projet de développement régional de la Boucle Centre-Artibonite, BCA³⁸. Ce processus a pâti de la crise sanitaire du coronavirus (COVID-19), durant laquelle les déplacements ont été limités et aucun contact face à face avec les différents acteurs n'a été possible.

Les restrictions des déplacements sont entrées en vigueur après le premier contact avec les acteurs locaux. L'étape suivante nécessitait une deuxième visite pour présenter les plans d'action élaborés avec les apports du premier contact, mais cela n'a pas pu se faire.

Dans sa note technique rédigée spécifiquement pour cette situation exceptionnelle³⁹, la Banque mondiale a indiqué que, compte tenu des inquiétudes grandissantes concernant le risque de propagation du virus, il était urgent d'adapter l'approche et la méthodologie de consultation et de participation des parties prenantes. Elle a proposé plusieurs options pour l'élaboration de processus.

En ce qui concerne le processus du projet BCA, il a été nécessaire d'évaluer le niveau de pénétration des TIC parmi les principaux groupes de parties prenantes afin de détermi-

ner le type de canaux de communication qui pourraient être utilisés efficacement dans le contexte du projet. Les options comprenaient l'utilisation d'Internet (vidéoconférences, applications de messagerie instantanée, courrier électronique) et les appels téléphoniques. En ce qui concerne les parties prenantes du projet BCA, le groupe de travail a estimé que des échanges Internet avec les autorités locales pouvaient être envisagés, mais avec des interruptions ; avec les communautés locales, le téléphone apparaissait comme la seule option viable. Le tableau 27 ci-après indique l'analyse des alternatives effectuée pour permettre la poursuite du processus.

Les communications se sont déroulées de manière satisfaisante avec toutes les parties prenantes locales. Il est raisonnable d'avancer que la flexibilité des méthodes de consultation a permis de poursuivre le processus et de maintenir un mode de communication par téléphone ouvert, dont le potentiel a été exploité par l'équipe de gestion et par les parties prenantes consultées.

Toutefois, l'un des enseignements tirés est qu'un premier contact en face à face restait nécessaire pour instaurer la confiance. Pour la population consultée, des appels téléphoniques sans avoir d'abord rencontré l'équipe du projet en personne n'auraient pas eu le même impact. L'équipe du projet s'est également engagée à organiser une consultation publique une fois l'état d'alerte levé, pour compenser l'absence de lien direct durant cette période.

 **Tableau 27:** Résumé de l'analyse des alternatives dans le cadre des restrictions imposées durant la crise sanitaire

Approche/ outils	Analyse	Applicabilité
Réunions publiques	Interdites par le gouvernement haïtien et l'UTE.	Sans objet
Réunions en petit comité	Les parties prenantes ne disposent pas d'EPI70 ⁷⁰ contre la COVID-19. Les réunions en petit comité et les missions sur le terrain sont interdites depuis la déclaration de l'état d'urgence sanitaire.	Sans objet
Réunions et groupes de discussion en ligne	La mairie, le comité de gestion ou les parties prenantes n'ont pas accès aux technologies.	Sans objet
Voies de communication traditionnelles (télévision, journaux, radio et autres)	Ne conviennent pas à la consultation des parties prenantes. D'une part, les parties prenantes sont dispersées sur tout le territoire et les stations de radio locales ont une couverture limitée. D'autre part, ces communications peuvent mettre en péril la sécurité des parties prenantes.	Sans objet
Courrier électronique et messagerie instantanée	La messagerie instantanée est utilisée pour communiquer avec certaines parties prenantes qui disposent de cette technologie (par exemple, le MDOD, la mairie, le comité de gestion). Cependant, certaines parties prenantes n'ont que très rarement accès aux données sur Internet, et ceci en quantité limitée. Cette technologie n'est pas accessible à toutes les parties concernées.	Applicable pour l'échange de documents et d'images. Ne convient pas aux longues discussions.
Appels téléphoniques	Ils rendent difficile la confrontation d'idées différentes et ne permettent pas les échanges en groupe. Ils permettent néanmoins d'avoir une discussion approfondie avec chaque partie prenante ⁷¹ spécifique. Ils garantissent également la confidentialité des données et ne compromettent pas la sécurité des parties prenantes.	La méthode de consultation la plus utilisée durant la situation d'urgence sanitaire générée par la COVID-19,





7. CATALOGUE DE SOLUTIONS

7.1 Fiches d'information sur les SFN

7

CATALOGUE DE SOLUTIONS

La présente section fournit une description des SFN testées qui peuvent être utilisées pour la protection de l'infrastructure routière. Bien que les interventions doivent être adaptées au contexte local spécifique, et malgré le large éventail de contextes en termes d'exposition aux dangers, de santé des écosystèmes et de systèmes humains qui existent, ces SFN ont été jugées pertinentes dans le contexte d'Haïti.

Un total de 16 solutions est identifié et résumé dans la liste ci-après, y compris des informations sur les configurations routières les plus pertinentes, l'objectif, le type, l'échelle, le matériau, le coût de mise en œuvre, les co-avantages et les risques. Des renseignements supplémentaires sur le coût économique de l'ÉNB figurent dans la section 4. La sous-section 7.2 fournit des fiches d'information avec la description des solutions qui sont considérées comme les plus pertinentes pour Haïti en termes de risques les plus élevés, d'écosystèmes locaux, de capacité et ressources locales pour la mise en œuvre des dites solutions.

SFN1.

Stabilisation des pentes : principe général

SFN2.

Stabilisation des pentes avec des matériaux naturels

SFN3.

Stabilisation de la pente avec des matériaux hybrides

SFN4.

Revégétalisation avec des espèces forestières indigènes

SFN5.

Restauration avec des variétés de cultures locales résilientes

SFN6.

Conservation et restauration des mangroves

SFN7.

Conservation et restauration des récifs coralliens

SFN8.

Brise-lames vivants

SFN9.

Systèmes Oysterbreak et unités de protection du littoral

SFN10.

Restauration des plages, des bancs de sable et des dunes

SFN11.

Restauration et conservation des herbiers marins

SFN12.

Gestion naturelle des milieux humides (bourbiers, marécages et milieux humides)

SFN13.

Stabilisation des pentes côtières avec des matériaux hybrides

SFN14.

Réalignement côtier géré

SFN15.

Enrochement et végétation pour protéger les pieux et les culées des ponts

SFN16.

Ouvrages en berge pour la protection des ponts

Bien que les différentes catégorisations soient présentées dans un certain ordre, il est important de garder à l'esprit que tous les écosystèmes sont liés. Tout ce qui se passe dans l'un des systèmes a une influence directe sur les autres. Par exemple une mauvaise gestion des bassins versants supérieurs (par exemple un drainage mal planifié) peut avoir des conséquences négatives importantes sur le littoral ou directement sur l'écosystème marin. En résumé, « la reconnaissance de l'interconnectivité des systèmes est fondamentale pour la conception et l'efficacité du SFN »⁷².

Dans chacune des solutions du catalogue, des conseils sont fournis pour savoir si elles sont entièrement basées sur l'utilisation de la biodiversité et des services écosystémiques (adaptation écosystémique, EbA, ou réduction des risques de catastrophe écosystémiques, Eco-DRR), ou s'il s'agit d'options hybrides qui cherchent à tirer parti des caractéristiques des approches dures et naturelles.

Approche globale

Bien que différentes solutions de SFN puissent être citées séparément, il convient de noter que la meilleure solution est probablement une combinaison de plusieurs SFN, de mesures techniques et non structurelles, qui résulteraient à leur tour d'un processus intensif de planification territoriale et d'utilisation des terres.

Il est donc recommandé d'adopter, dans tous les cas, une perspective globale. Pour cela, il est nécessaire de considérer les deux types d'approches ci-après, valables pour les quatre configurations vulnérables ou unités de gestion routière identifiées : lignes de défense multiples et gestion en amont. Ces deux approches sont décrites ci-après.

Lignes de défense multiples : Elles impliquent l'utilisation de caractéristiques environnementales (îlots-barrières, marais) pour compléter les infrastructures dures (digues et vanes d'inondation), ainsi que des mesures non structurelles (maisons surélevées et voies d'évacuation). Le nombre accru d'interventions utilisées dans le cadre d'un programme est susceptible d'accroître la résilience globale face aux événements extrêmes. Le tableau 28 ci-après offre une représentation de la façon dont certaines interventions peuvent être alignées et se compléter (GoJ 2017) dans le cadre d'une approche de plusieurs lignes de défense.

Gestion en amont : La gestion des bassins versants supérieurs et de l'arrière-pays jusqu'au littoral est essentielle. Compte tenu des liens étroits entre les terres, l'eau et les systèmes côtiers en Haïti, l'intégration des activités en amont avec la gestion des zones côtières est essentielle pour favoriser une coordination intersectorielle efficace dans la planification et la gestion des terres, de l'eau et des utilisations côtières.

SFN	Configuration de la route	Objectif	Type	Échelle d'intervention		Matériaux	Coût	Co-avantages	Risques pour la durabilité
SFN1 Stabilisation des pentes : principe général	A : Montagne	Protéger l'infrastructure contre les glissements de terrain et l'érosion en ralentissant la vitesse de l'eau et en facilitant l'infiltration de l'eau	Basé sur l'écosystème/ Hybride	Paysage / Emprise de la route				Biodiversité (si les espèces sont indigènes), conditions environnementales	Manque d'attention à la qualité du sol dans le processus de revégétalisation. Sélection de variétés attrayantes pour les animaux (bétail ou faune) ou pour une activité économique (par exemple, vétiver). Sélection de variétés qui ne sont pas adaptées aux conditions spécifiques du site.
SFN2 Stabilisation des pentes avec des matériaux naturels	A : Montagne D : Traversée (berges)	Protéger les infrastructures contre les glissements de terrain et l'érosion. La méthode naturelle qui est principalement utilisée pour ancrer les différentes structures sont les piquets de bois dur vivants ou morts	Basé sur l'écosystème	Paysage / Emprise de la route		Noix de coco, jute ou autres grilles de fibres organiques; Rouleaux de paille; Fascines; Bûches / torchons (bûche de bois ou bûches en fibres organiques telles que la fibre de coco ou la paille « torches de paille »)		Biodiversité, conditions environnementales	Manque d'entretien, en particulier dans la première étape après l'installation.
SFN3 Stabilisation de la pente avec des matériaux hybrides	A : Montagne D : Traversée (berges)	Protéger les infrastructures contre les glissements de terrain et l'érosion. La méthode grise qui est principalement utilisée pour ancrer les différentes structures sont les fils et les crochets.	Hybride	Paysage / Emprise de la route		Géomats ou géogrille synthétiques anti-érosion ; terrasses ; géocellules ; gabions ; enrochement ; revêtement en pierre ; enrochement	1080\$ É.-U./ha/an ⁵⁸	Biodiversité, conditions environnementales	Événements extrêmes
SFN4 Revégétalisation avec des espèces forestières indigènes	A : Montagne	Aide à stabiliser les pentes. Les plantes indigènes sont adaptées aux sols indigènes, fournissent un habitat faunique, peuvent mieux s'adapter aux perturbations climatiques.	Basé sur l'écosystème	Paysage / Emprise de la route			3 450 \$ É.-U./ha ⁴²	Biodiversité, conditions environnementales	Manque d'attention à la qualité du sol dans le processus de revégétalisation. Sélection de variétés attrayantes pour (bétail ou faune) ou pour une activité économique (par exemple, vétiver). Sélection de variétés qui ne sont pas adaptées aux conditions spécifiques du site.

SFN	Configuration de la route	Objectif	Type	Échelle d'intervention		Matériaux	Coût	Co-avantages	Risques pour la durabilité
SFN5 Restauration avec des variétés de cultures locales résilientes	A : Montagne	Restauration des écosystèmes adjacents aux routes qui peuvent fournir une protection contre l'érosion, tout en ayant l'avantage d'être économiquement valorisés par les communautés locales.	Basé sur l'écosystème	Paysage / Emprise de la route				Valeur économique	Manque d'attention à la qualité du sol pour le développement de la végétation. Sélection de variétés non adaptées aux conditions spécifiques du site. Sélection de variétés qui n'ont pas de conditions de marché.
SFN6 Conservation et restauration des mangroves	B : Côtier	Protection côtière. Les mangroves réduisent l'énergie des vagues, réduisent les ondes de tempête et la profondeur des inondations.	Basé sur l'écosystème	Paysage			9 000 \$ É.-U./ha. (médiane) [Fourchette : 1 413 \$ É.-U. -42 801\$ É.-U./ha ⁴⁰]	Fournit de nombreux biens et services au milieu marin et aux communautés humaines : pêches, bois de chauffage, bois d'œuvre et produits végétaux; la séquestration des gaz à effet de serre; puits pour l'azote inorganique et le phosphore; la biodiversité; tourisme.	Exposition à la pollution plastique et à d'autres déchets humains ; conversion à l'aquaculture non durable Surpêche pour le charbon de bois et le bois de chauffage à vendre sur les marchés urbains. Ensemencement non protégé de la mangrove vulnérable à la prédation par les chèvres.
SFN7 Conservation et restauration des récifs coralliens	B : Côtier	Protection contre les dommages causés par les vagues à d'autres habitats, collectivités côtières et infrastructures. Les récifs coralliens peuvent fournir et piéger les sédiments et atténuer les vagues.	Basé sur l'écosystème	Paysage			165 000 \$ É.-U./ha (médiane) ^{40,41} (également 542 500\$ É.-U./ha ⁴²)	Biodiversité, fourniture de services écosystémiques essentiels et d'habitats pour les espèces de poissons et autres organismes marins précieux. Écotourisme.	Pollution, espèces envahissantes, surpêche, eutrophication, dommages causés par les activités de navigation et de tourisme, changement climatique et risques naturels
SFN8 Brise-lames vivants	B : Côtier	Réduire l'énergie des vagues en créant une barrière, le plus souvent sous l'eau, entre l'eau libre et le rivage.	Basé sur l'écosystème	Paysage		Intentionnellement conçu pour incorporer des éléments d'habitat naturel tout en assurant la protection du littoral (par exemple coquilles d'huîtres récoltées).		Biodiversité, fourniture de services écosystémiques essentiels et d'habitats pour les espèces de poissons et autres organismes marins précieux. Production halieutique tourisme	Pollution, espèces envahissantes, eutrophication, dommages causés par les activités maritimes et touristiques, changement climatique

SFN	Configuration de la route	Objectif	Type	Échelle d'intervention		Matériaux	Coût	Co-avantages	Risques pour la durabilité
SFN9 Systèmes Oysterbreak et unités de protection du littoral	B : Côtier	Réduire l'énergie des vagues, minimisant ainsi les dommages causés par l'action des vagues, et réduire l'érosion.	Basé sur l'écosystème/hybride	Paysage		Important de vérifier les caractéristiques telles que la force et la perméabilité.	66 800 \$ É.-U./ha ⁶	Stimuler la croissance des huîtres et ainsi augmenter la biodiversité dans la région immédiate.	Dépend de considérations de conception (par exemple la zone des façades à protéger, les niveaux d'eau de courant, de marée et de déferlement et les obstructions sur le fond marin).
SFN10 Restauration des plages, des bancs de sable et des dunes	B : Côtier	Protection contre les ondes de tempête et les vagues, et l'élévation du niveau de la mer	Basé sur l'écosystème / hybride : combiné avec des épis, un brise-lames au large, la création artificielle de récifs coralliens	Paysage			7 636 \$É.-U. à 13 888 \$ É.-U./ha ⁴⁸	Biodiversité : Les plages offrent de la valeur aux résidents et contribuent à soutenir l'économie touristique locale.	Pour réussir la restauration, il est essentiel d'éliminer l'afflux de public dans la zone où l'action est menée. Il est nécessaire d'effectuer une série de travaux pour protéger la ligne des dunes, y compris des clôtures, l'adaptation des accès, la construction de passerelles et de panneaux d'information.
SFN11 Restauration et conservation des herbiers marins	B : Côtier	Atténuer les vagues et stabiliser les sédiments (de la façon la plus fiable dans les eaux peu profondes et les environnements à faible consommation d'énergie des vagues).	Basé sur l'écosystème	Paysage				Biodiversité, refuge pour les organismes calcifiants, habitat clé (frayères, aires d'alevinage et d'alimentation). Puits de carbone : à mesure que la biomasse augmente avec l'acidification des océans, la séquestration du carbone augmente.	Pollution apportée par les pluies ; l'érosion sédimentaire créée par les houles cycloniques affecte certaines espèces d'herbes marines ; exposition due aux marées barométriques basses. Impact des pressions anthropiques (par exemple, utilisation d'engins de pêche ; mouillages et hélices de bateaux ; enlèvement de prairies des zones de baignade pour le « bien-être » des touristes ; impact de l'extraction de corail ou de sable ; développement des infrastructures, pollution indirecte due aux activités domestiques, agricoles et industrielles).

SFN	Configuration de la route	Objectif	Type	Échelle d'intervention		Matériaux	Coût	Co-avantages	Risques pour la durabilité
SFN12 Gestion naturelle des milieux humides (bourbiers, marécages et milieux humides)	B : Côtier	Agir à titre de « tampons » et remplir ainsi des fonctions importantes liées à la protection des collectivités, des écosystèmes et des biens (contrôle des sédiments et de l'érosion ; réduction du ruissellement des eaux pluviales par infiltration).	Basé sur l'écosystème	Paysage			85 000 \$ É.-U. -230 000/ha ⁴⁶ (67 000\$ É.-U./ha ⁴⁰)	Loisirs, qualité de l'eau, transformation et élimination des éléments nutritifs ; réduction des impacts humains en limitant la facilité d'accès; biodiversité, et barrière à l'invasion des espèces exotiques. Réduction de la température de l'eau, réduction de la pollution, amélioration de l'accès à l'eau pour les communautés locales.	Pollution. Impacts de l'activité humaine directe sur l'écosystème.
SFN13 Stabilisation des pentes côtières avec des matériaux hybrides	B : Côtier	Protéger l'infrastructure de l'érosion côtière par les vagues, les courants et le vent.	Hybride	Paysage		Revêtements ; Épis ; Épis de bois réglables ; Gabions ; Structures de sacs de sable ; Tubes en matériau géotextile remplis de sédiments		Biodiversité, habitat de pêche	Les revêtements peuvent perturber les processus naturels du littoral en coupant l'approvisionnement côtier en matériaux et peuvent également détruire les habitats riverains et réduire la largeur des plages intertidales. Les événements climatiques peuvent affecter les structures à court terme telles que les gabions et les sacs de sable.
SFN14 Réalignement côtier géré	B : Côtier	Gestion des risques d'inondation face à l'élévation du niveau de la mer, onde de tempête	Basé sur l'écosystème / hybride	Paysage / emprise de la route				Biodiversité, habitat de pêche, atténuation de la perte d'habitat intertidal, séquestration et stockage du carbone, utilisation récréative	Option qui fait souvent l'objet d'une grande controverse politique et sociale. Les programmes souffrent souvent d'un manque d'acceptation par le public. Il est également probable qu'elle sera très perturbatrice et coûteuse si la relocalisation de l'infrastructure côtière est nécessaire. Si les infrastructures sont abandonnées plutôt que déplacées, il faudra veiller à ce que les zones voisines ne deviennent pas isolées, ce qui entraînerait une augmentation de la pauvreté.

SFN	Configuration de la route	Objectif	Type	Échelle d'intervention		Matériaux	Coût	Co-avantages	Risques pour la durabilité
SFN15 Enrochement et végétation pour protéger les pieux et les culées des ponts	C : Passages à niveau	Protection contre l'affouillement local des pieux et des culées en raison de l'érosion hydrique et sédimentaire.	Basé sur l'écosystème / hybride	Emprise de la route				Biodiversité	Les événements extrêmes peuvent endommager la solution mise en œuvre.
SFN16 Travaux effectués sur les berges pour protéger les ponts	C : Passages à niveau	Protection contre l'affouillement local des pieux et des culées en raison de l'érosion hydrique et sédimentaire	Basé sur l'écosystème / hybride	Emprise de la route		Digues de canalisation (construites avec un talus de sol ou de sable qui devrait de préférence être protégé par de la roche et au moins avec de l'herbe ou de la végétation. Des filtres peuvent être nécessaires ou la granulométrie peut être modifiée pour éviter la perte de matériau fin) ; Éperons (construits avec des rochers, des gabions, du bois ou du bambou).		La biodiversité, dans le cas de la revégétalisation	Les événements extrêmes peuvent endommager la solution mise en œuvre.





7.1

FICHES D'INFORMATION SUR LES SFN

Dans la présente section, plusieurs fiches d'information ont été élaborées pour chacune des SFN jugées pertinentes dans le contexte haïtien. Longues d'une ou de deux pages, elles visent à offrir un aperçu rapide du principe de base de la protection que les écosystèmes peuvent apporter au réseau routier dans chaque cas.

Chacune des solutions présentées dans ce guide pourrait être décrite de manière beaucoup plus détaillée et faire l'objet de publications complètes ou de brochures pouvant être améliorées par une collaboration avec les communautés et les techniciens locaux.



SFN1

Stabilisation des pentes : principe général



Objectif de la SFN

Protéger les infrastructures contre les glissements de terrain et l'érosion. La protection consiste à faire repousser de la végétation sur les pentes pour ralentir la vitesse de l'eau et faciliter son infiltration. Une combinaison de mesures est en général souhaitable. En particulier dans les zones à forte pente, il est important de réduire la pente et, si cela s'avère impossible, d'installer des structures de stabilisation telles que des gabions, des enrochements ou des murs de soutènement, qui peuvent être associés à des grilles ou à un feutre géotextile d'enrochement. La restauration du couvert végétal est ensuite favorisée pour apporter une plus grande stabilité. Le tableau 29 ci-après et les fiches qui suivent énumèrent les différentes options pouvant être combinées.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Combinaison de mesures dans le tableau 29 ci-après.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Avantages connexes

Biodiversité, conditions environnementales.



Risques pour la durabilité de la SFN

Manque d'attention portée à la qualité du sol pour le développement de la végétation. Sélection de variétés susceptibles d'attirer le bétail ou une activité économique (par exemple, le vétiver). Sélection de variétés qui ne sont pas adaptées aux conditions spécifiques du site.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

La stabilisation des pentes exposées et la restauration du couvert végétal doivent être effectuées au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur les routes. Tous les ouvrages de protection ou de stabilisation doivent faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies détectées, que celles-ci soient dues à un vieillissement normal ou à des contraintes liées au type de phénomène justifiant la présence des ouvrages de protection. Il faut considérer que les projets ne s'achèvent pas lors de la germination des plantes, mais lorsqu'une couverture d'au moins 70 % de végétation à long terme est atteinte.



Exemple tiré de l'expérience haïtienne

Stabilisation des pentes par la restauration du couvert végétal lors des travaux de réfection de la route reliant Les Cayes à Jérémie (voir étude de cas p. 63). Par ailleurs, des solutions ont été proposées par TYPSA pour deux sites pilotes dans le sud, dans le cadre du projet intitulé « Élaboration d'un plan et de lignes directrices, et renforcement des capacités pour l'adoption de solutions fondées sur les écosystèmes afin de protéger les infrastructures en Haïti » (voir l'étude de cas dans la septième partie).

De nombreuses options peuvent être envisagées pour la stabilisation des pentes. Le premier aspect à prendre en compte est la qualité du sol ; ensuite, la restauration du couvert végétal peut ou non nécessiter un support de stabilisation, selon la pente ou le type de sol, entre autres facteurs. Sur les routes haïtiennes vulnérables, une combinaison des trois types de mesures ci-après sera très probablement nécessaire.

Préparation du sol	Support de stabilisation		Restauration du couvert végétal
	Fondé sur la nature	Hybride	
<p>Principe général : En l'absence d'un sol de bonne qualité et d'une bonne préparation, les autres mesures ont peu de chances de porter leurs fruits. Inclure l'application d'engrais, la réalisation de trous et l'installation de systèmes d'arrosage.</p>	<p>Grilles en coco ou autres fibres organiques</p> <p>Rouleaux de paille</p> <p>Fascines ou rouleaux de résidus végétaux</p> <p>Bûches/fagots</p> <p>Ancrage : piquets en bois dur</p>	<p>Grilles synthétiques</p> <p>Terrasses</p> <p>Géotextile cellulaire</p> <p>Gabions</p> <p>Revêtement en pierre</p> <p>Enrochement</p>	<p>Principe général</p> <p>Utilisation de piquets végétaux ou plantation d'espèces indigènes aux racines profondes pour stabiliser la pente.</p> <p>Les plantes indigènes favorisent la biodiversité et nécessitent moins d'intrants.</p> <p>Méthodes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Manuelles Hydroensemencement

Des études spécifiques doivent être élaborées dans chaque contexte pour trouver les mesures appropriées.



SFN2

Stabilisation des pentes à l'aide de matériaux naturels



Objectif de la SFN

Protéger les infrastructures contre les glissements de terrain et l'érosion. Ces solutions assurent une protection contre l'érosion, pendant la période nécessaire à la formation de racines et aux pousses des plantes indigènes pour coloniser et stabiliser les sols, sur la base de matériaux naturels. La méthode naturelle la plus utilisée pour ancrer les différentes structures est le pieu en bois dur vivant ou mort.



Grilles en fibres de coco, en jute ou autres fibres organiques : Elles contrôlent l'érosion dans les sillons et les ravines des pentes, favorisant la germination et la formation de racines. Elles sont généralement ajustées à l'aide de piquets vivants ou de systèmes d'établissement de plantes pour créer des barrières durables à long terme. Leur grande résistance leur permet d'être utilisées dans certains cas pour remplacer les enrochements. Les rouleaux de fibres de coco peuvent être mélangés à d'autres produits ou à des systèmes de contrôle de l'érosion.

Rouleaux de paille : rouleaux de paille emballés dans des filets synthétiques. Leur but est de capturer et de maintenir les sédiments sur la pente, favorisant une stabilisation temporaire.



Objectif de la SFN

Fascines : ou rouleaux de résidus végétaux provenant de zones déboisées sur des pentes sensibles à l'érosion. Utilisées avec des piquets végétaux ou des espèces indigènes aux racines profondes, elles contribuent à stabiliser la pente.



Bûches/fagots : il peut s'agir de bûches de bois ou de bûches faites de fibres organiques telles que la fibre de coco ou la paille (« fagots de paille »). Elles représentent une alternative efficace et économique aux clôtures anti-érosion et aux ballots de paille pour le contrôle des sédiments et l'écoulement des eaux pluviales. Elles peuvent être placées et jalonnées le long du contour des pentes nouvellement construites ou perturbées. La terre végétale fertile, la matière organique et les graines indigènes sont piégées derrière les bûches/fagots et constituent un milieu stable pour la germination. Les fagots de paille retiennent également l'humidité apportée par les pluies.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Avantages connexes

Biodiversité, conditions environnementales.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Risques pour la durabilité de la SFN

Manque d'entretien, en particulier dans la première phase après l'installation.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Produits hydrauliques et de contrôle de l'érosion.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Tous les ouvrages de protection ou de stabilisation doivent faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies détectées, que celles-ci soient dues au vieillissement naturel ou à des contraintes liées au type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection.



Coût de mise en œuvre:

1080 US\$/ha/yr⁶⁵ plus 242 US\$/ha/yr pour coût d'entretien annuel (ces coûts sont à titre d'illustration basés sur le coût de terrassement)



SFN3

Stabilisation des pentes à l'aide de matériaux hybrides



Objectif de la SFN

Protéger les infrastructures contre les glissements de terrain et l'érosion. Ces solutions assurent une protection contre l'érosion, pendant la période nécessaire à la formation de racines et aux pousses des plantes indigènes pour coloniser et stabiliser les sols, avec l'intégration de matériaux non naturels. La méthode grise la plus utilisée pour ancrer les différentes structures est celle des fils de fer et des crochets.



Géonappes ou géogrilles synthétiques anti-érosion : Couvertures souples et perméables, faites de fibres synthétiques maintenues ensemble par des mailles plates ou des trames tridimensionnelles. Présentant la même fonctionnalité que les géogrilles organiques, elles protègent le sol et facilitent le développement et le renforcement de la végétation. Pour les pentes raides, les nattes composites de renfort constituent une bonne option.

Terrasses : Elles servent à ralentir la vitesse de l'eau et à favoriser la croissance des plantes. Les terrasses empêchent l'érosion en fractionnant une longue pente en plusieurs pentes plus courtes et plus planes qui permettent à l'eau de s'écouler plus lentement et de s'infiltrer dans le sol. Les terrasses peuvent être construites en bois traité sous pression, en pierre naturelle ou en produits de maçonnerie tels que des blocs modulaires. Les techniques de construction varient en fonction du matériau utilisé.



Objectif de la SFN

Géotextile cellulaire : structures tridimensionnelles qui permettent de confiner les matériaux granulaires et les sols. Il s'agit de feuilles de polyéthylène à haute densité, soudées par ultrasons, qui ont pour but d'améliorer les fondations d'une route, de confiner un sol fertile pour végétaliser une pente ou une couche de gravier pour couvrir un canal érodable, ou encore de créer une masse de sol stable pour servir de mur de soutènement sous l'effet de la gravité. Ces structures sont très efficaces pour le contrôle de l'érosion sur les pentes raides et comme revêtement pour les canaux à fort débit.

Gabions : Grilles en treillis métallique remplies de pierres. Placés au pied du glissement, ils permettent d'arrêter sa progression vers la route.

Enrochement : Technique qui consiste à placer des pierres naturelles rugueuses et anguleuses sur la surface de la pente. Les pierres sont placées de manière à s'emboîter et à former une barrière étanche et dense qui protégera la pente contre l'érosion. Ce type d'enrochement ne doit être utilisé que pour les pentes inférieures à 66 % (34 degrés). Les pentes plus raides nécessitent des pierres ancrées plus grosses ou des techniques différentes.

Revêtement en pierre : Envisager un revêtement en pierre sèche.

Enrochement : Éperons de drainage et enrochements au pied du glissement pour contrer l'avancée des matériaux sur la chaussée.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride



Risques pour la durabilité de la SFN

Phénomènes extrêmes



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route



Potentiel accru avec d'autres SFN

Produits hydrauliques et de contrôle de l'érosion



Avantages connexes

Biodiversité, conditions environnementales



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Tous les ouvrages de protection ou de stabilisation doivent faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies détectées, que celles-ci soient dues au vieillissement naturel ou à des contraintes liées au type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection.



SFN4

Restauration du couvert végétal à l'aide d'essences forestières indigènes



Objectif de la SFN

La végétation aide à stabiliser les pentes de nombreuses façons. Les plantes indigènes fournissent un habitat à la faune, conviennent aux sols du pays, s'adaptent plus facilement aux perturbations climatiques et ont un mode d'interaction entre elles que les plantes hybrides/exotiques n'ont pas. Sur chaque site, il est nécessaire d'analyser les caractéristiques spécifiques de la végétation (volume et densité du feuillage, taille, hauteur du couvert végétal, présence de différentes couches de couvert végétal, type, profondeur, diamètre, densité, couverture et résistance du système racinaire, entre autres).

La liste des espèces adaptées aux SFN en Haïti peut être consultée dans les annexes 4, 5 et 6.

Les effets de la végétation sur la stabilité d'une pente peuvent être représentés schématiquement comme suit :



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route



Coût de mise en œuvre

2 207 US\$/ha [189 US\$ à 5 665 US\$/ha]⁶¹ ou 3 450 US\$/ha³⁷ (forêt tropicale) avec entretien annuel variable largement par emplacement et type d'arbres



Avantages connexes

Biodiversité, conditions environnementales



Potentiel accru avec d'autres SFN

Produits hydrauliques et de contrôle de l'érosion



Risques pour la durabilité de la SFN

Manque d'attention à la qualité du sol pour le développement de la végétation ; sélection de variétés susceptibles d'attirer le bétail ou une activité économique (par exemple, le vétiver) ; sélection de variétés qui ne sont pas adaptées aux conditions spécifiques du site.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

La stabilisation des pentes exposées et la restauration du couvert végétal doivent être effectuées au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur les routes. Tous les ouvrages de protection ou de stabilisation doivent faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies détectées, que celles-ci soient dues à un vieillissement normal ou à des contraintes liées au type de phénomène justifiant la présence des ouvrages de protection. Il faut considérer que les projets ne s'achèvent pas lors de la germination des plantes, mais lorsqu'une couverture d'au moins 70 % de végétation à long terme est atteinte. Dans la plupart des cas, il est recommandé de procéder à l'ensemencement avant l'installation des couvertures. De la paille ou du paillis de foin peut être ajouté après l'ensemencement. Toutes les rainures et autres zones perturbées pendant le processus d'installation doivent être réensemencées. Lorsque les techniques d'ensemencement conventionnelles ne peuvent être utilisées en raison de la difficulté d'accès ou de pentes raides, l'ensemencement hydraulique d'espèces herbacées et ligneuses peut être envisagé.



Exemple tiré de l'expérience haïtienne

Stabilisation des pentes par la restauration du couvert végétal lors des travaux de réfection de la route reliant Les Cayes à Jérémie (voir l'étude de cas à la section 5.3). Par ailleurs, des solutions ont été proposées par TYPSA pour deux sites pilotes dans le sud, dans le cadre du projet « Élaboration d'un plan et de lignes directrices, et renforcement des capacités pour l'adoption de solutions fondées sur les écosystèmes afin de protéger les infrastructures en Haïti » (voir l'étude de cas figurant dans la septième partie).



SFN5

Restauration à l'aide de variétés de cultures locales résilientes



Objectif de la SFN

Des espèces productives doivent également être envisagées pour la restauration des écosystèmes adjacents aux routes. Bien qu'elles n'offrent pas nécessairement les avantages des plantes indigènes en termes de biodiversité, bon nombre d'entre elles sont parfaitement adaptées à l'environnement et peuvent fournir une protection contre l'érosion ; elles ont également l'avantage d'être économiquement valorisées par les communautés locales. Ces communautés peuvent en tirer des ressources et seront donc plus susceptibles de les entretenir au fil du temps.

La liste des espèces adaptées aux SFN en Haïti peut être consultée dans l'annexe 1.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/ hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Avantages connexes

Valeur économique.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Produits hydrauliques et de contrôle de l'érosion.



Risques pour la durabilité de la SFN

Manque d'attention portée à la qualité du sol pour le développement de la végétation. Sélection de variétés qui ne sont pas adaptées aux conditions spécifiques du site. Sélection de variétés qui ne sont pas soumises à des conditions de marché.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

La stabilisation des pentes exposées et la restauration du couvert végétal doivent être effectuées au fur et à mesure de l'avancement des travaux sur les routes. Tous les ouvrages de protection ou de stabilisation doivent faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies détectées, que celles-ci soient dues à un vieillissement normal ou à des contraintes liées au type de phénomène justifiant la présence des ouvrages de protection. Les distances de plantation dépendront des besoins de chaque espèce (par exemple les agrumes auront besoin d'une distance de 5,5 à 7,5 m, tandis que les mangues auront besoin de 8 à 10 m de distance), et des différentes zones géographiques et agroécologiques. Dans la plaine, les arbres seront plantés plus près les uns des autres en fonction de la pente. Plus la pente est raide, plus la distance entre les arbres sera courte. Ces facteurs, ainsi que la définition des périodes de plantation et des besoins d'entretien, doivent être approuvés par un technicien spécialisé. De la paille ou du paillis de foin peuvent être ajoutés après l'ensemencement.



Exemple tiré de l'expérience haïtienne

Stabilisation des pentes par la restauration du couvert végétal lors des travaux de réfection de la route reliant Les Cayes à Jérémie (Voir l'étude de cas à la section 5.3).



SFN6

Conservation et restauration des mangroves



Objectif de la SFN

Protection des côtes. Les mangroves amortissent les vagues et réduisent l'onde de tempête et la profondeur des inondations⁴⁰. Les racines des mangroves limitent l'érosion côtière et protègent les communautés et les infrastructures des tempêtes tropicales.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage / emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Santé et préservation des herbiers marins et des récifs coralliens. Des revêtements utilisés devant les mangroves peuvent faciliter la croissance de nouvelles plantes.



La mangrove rouge (*Rhizophora mangle*) La mangrove noire (*Avicennia germinans*)

sont les espèces les plus adaptées à la restauration en Haïti. On trouve des forêts de mangroves le long des principaux estuaires, en particulier le long de la côte nord, à l'est du Cap Haïtien, et sur la côte est au sud des Gonaïves. On en trouve également des populations à Fort Liberté, dans le nord-est du pays. Veuillez-vous référer à l'annexe 3, liste des espèces adaptées aux SFN en Haïti: restauration des dunes, des plages et des côtes.



Avantages connexes

Un écosystème productif qui fournit de nombreux biens et services à l'environnement marin et aux communautés humaines : pêche, bois et produits végétaux ; séquestration des gaz à effet de serre ; puits d'azote et de phosphore inorganiques ; biodiversité ; tourisme.



Risques pour la durabilité de la SFN

Exposition à la pollution plastique et à d'autres déchets humains ; conversion à une aquaculture non durable. Une réduction de la couverture des mangroves à l'échelle mondiale est observée, avec des signes alarmants dans certains pays de la région. La perte de mangroves à la Barbade a été dramatique, avec notamment l'extinction locale de deux espèces. Les facteurs indispensables à leur durabilité et à leur bon entretien sont l'organisation communautaire (y compris la mise en place de structures décisionnelles collectives formelles), l'élaboration de plans d'exploitation pour l'utilisation durable des ressources issues des écosystèmes de mangroves et l'adhésion des gouvernements locaux.



Coût de mise en œuvre

9 000 US\$/ha (médiane) [Fourchette : 1 413 US\$ à 42 801 US\$/ha³⁵] avec un coût d'entretien pouvant varier de 7 US\$ 85/ha/an⁴² (5 000 US\$⁴³-11 000⁴⁴/ha/an en Floride, 10% de l'investissement initial (85 US\$/ha) en Indonésie²⁶). Les données empiriques suggèrent un rapport avantages-coûts de 41²⁶.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Pendant un an ou deux, les plantes sont vulnérables à divers facteurs de stress naturels et artificiels. La surveillance de la croissance et de la survie et l'entretien, par l'élimination des algues ou autres parasites, sont deux activités majeures de la réhabilitation. Des patrouilles régulières doivent ensuite être effectuées par la communauté ou par un gardien désigné. En cas d'action intense des vagues sur les nouveaux arbres, l'installation de barrières faites de roches ou de bambou doit être envisagée. Ces barrières permettent également de piéger les sédiments et d'augmenter le niveau du substrat, ce qui favorise la croissance des plantes. L'exploitation et l'entretien incluront généralement une inspection visuelle, une évaluation de la qualité de l'eau, de la couverture, de l'étendue et de la densité, ainsi qu'une évaluation de l'impact des phénomènes hautement énergétiques.



Exemple tiré de l'expérience haïtienne

Transplantation de 85 000 plantules de palétuvier dans les communes de St Jean du Sud et d'Abaco. Action motivée par une étude menée par le PNUE en Haïti⁴²



SFN7

Conservation et restauration du récif corallien



Objectif de la SFN

Offrir une protection contre les dommages causés par les vagues à d'autres habitats, aux communautés côtières et aux infrastructures. Les récifs coralliens peuvent fournir et piéger des sédiments⁷⁶ et atténuer les vagues. Ils peuvent diminuer la puissance des vagues de tempête qui atteignent le rivage et ainsi réduire les inondations et l'érosion côtières. Le fonctionnement des récifs coralliens est similaire à celui d'un brise-lames submergé.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Les brise-lames vivants permettent aux coraux de s'établir de sorte à croître en même temps que l'élévation du niveau de la mer. La protection côtière, combinée aux prairies sous-marines et aux mangroves, peut également être encouragée : il a été démontré que l'utilisation conjointe d'habitats arborés offre une meilleure protection qu'un seul ou deux habitats.



Possibilité de solution hybride

Augmenter la surface de substrat en installant des substrats artificiels et naturels : « création de récifs artificiels ». Cela peut également être envisagé parallèlement à des interventions dures sur le littoral pour réduire l'énergie des vagues.



Avantages connexes

Biodiversité, fourniture de services écosystémiques essentiels et d'un habitat pour de précieuses espèces de poissons et autres organismes marins ; écotourisme.



Coût de mise en œuvre

165 000 \$ É.-U./ha (médiane)^{40,41} (également 542 500 \$ É.U./ha⁴²) avec un rapport bénéfices-coûts potentiel entre 13,6 et 15,55⁴³



Risques pour la durabilité de la SFN

Pollution, espèces envahissantes, eutrophisation, dommages causés par les activités de transport maritime et de tourisme, changement climatique et risques naturels (augmentation des températures de la mer, acidification, élévation du niveau de la mer, tempêtes et ouragans plus intenses, variabilité des précipitations). Les récifs coralliens sont naturellement dégradés par les tempêtes et le blanchiment des coraux.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Il est essentiel de veiller à préserver la biodiversité des espèces de coraux, afin que les nouveaux coraux aient plus de chances de résister à la dégradation des océans. Effectuer des visites et des inspections régulières afin de remédier à tout impact négatif éventuel. Permettre une documentation qualitative et quantitative de la survie et de la croissance des colonies.



Exemple tiré de l'expérience haïtienne⁴⁴

PNUE (2016). Partenaires côtiers : Appliquer la réduction des risques de catastrophe fondée sur l'écosystème (ECO-RRC) grâce à une approche de crête à récif à Port Salut, en Haïti.



SFN8

Brise-lames vivants



Objectif de la SFN

Limiter l'énergie des vagues en créant une barrière, le plus souvent sous-marine, entre l'eau libre et le rivage. Alors que les brise-lames traditionnels peuvent être en pierre, en béton ou en d'autres matériaux de construction, un brise-lames vivant est volontairement conçu pour intégrer des éléments d'habitat naturel tout en assurant la protection du littoral⁴⁵. Des coquilles d'huîtres récoltées (cuvée) peuvent être un exemple de matériau naturel.



Les brise-lames vivants intègrent l'habitat naturel en offrant des possibilités d'installation et de colonisation par les huîtres et les coraux ou en créant un abri et un habitat pour diverses espèces marines



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Comme la restauration des récifs coralliens.



Possibilité de solution hybride

Utilisation de béton poreux et de substrats récifaux qui créent une complexité structurelle et augmentent la probabilité d'une bonne colonisation par les espèces souhaitées. Les matériaux peuvent inclure, entre autres, des sphères récifales, de vieux bateaux coulés ou des éléments d'infrastructure.



Avantages connexes

Biodiversité, fourniture de services écosystémiques essentiels et d'un habitat pour de précieuses espèces de poissons et autres organismes marins. Production du secteur de la pêche ; tourisme.



Risques pour la durabilité de la SFN

Pollution, espèces envahissantes, eutrophisation, dommages causés par les activités de transport maritime et de tourisme, changement climatique (augmentation de la température de la mer, acidification, élévation du niveau de la mer, tempêtes et ouragans plus intenses, variabilité des précipitations). Les récifs coralliens sont naturellement dégradés par les tempêtes et le blanchiment des coraux.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Dans les eaux subtropicales, il peut falloir jusqu'à cinq ans pour établir une communauté benthique saine et stable. Une fois établie, elle sera pour l'essentiel autosuffisante. Un entretien occasionnel de la structure physique pourra être nécessaire. Étant donné que les brise-lames vivants peuvent créer une attraction récréative, il faut veiller à ce que les bancs d'huîtres ne soient pas récoltés illégalement ou ne soient pas perturbés. En ce qui concerne l'incidence de la navigation, il est recommandé d'effectuer une surveillance régulière pour s'assurer que les bateaux n'ont pas eu d'impact.



SFN9

Systemes OysterBreak et unités de protection du littoral



Objectif de la SFN

Les systèmes Oysterbreak sont conçus pour réduire l'énergie des vagues, résister aux dommages causés par l'environnement de ces dernières et réduire l'érosion des sédiments. Ce type de technologie entend utiliser la nature inhérente à l'huître pour améliorer une structure stratégique de protection des côtes et des estuaires. Ces systèmes peuvent être appliqués à tout projet côtier qui nécessite d'atténuer à la fois les vagues et l'érosion du littoral. Ils sont conçus pour remplir une double fonction en créant une structure récifale pour l'habitat et une structure robuste pour la protection du littoral⁴⁶.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Coût de mise en œuvre

66 800 US\$/ha6 avec un ratio avantages-coûts de 7,34⁴⁰



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Risques pour la durabilité de la SFN

Le risque dépendra fortement des questions de conception telles que la zone des façades à protéger, les courants, les niveaux des marées et des vagues et les obstructions sur les fonds marins. En ce qui concerne les matériaux, il est important de vérifier les caractéristiques telles que la solidité et la perméabilité.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Plantation d'herbes marines et de végétation aquatique submergée. Peut être combinée avec d'autres brise-lames vivants.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Envisager de surveiller le taux de transport par la dérive littorale, qui sera modifié par le brise-lames. Il peut être envisagé d'étudier certaines parties au-dessus du niveau de l'eau (inspection visuelle, photographies comparatives), d'effectuer des relevés de profil et de réaliser des inspections visuelles sous-marines, afin de détecter des irrégularités.



Avantages connexes

Stimule la croissance des huîtres et augmente ainsi la biodiversité dans la zone immédiate.



SFN10

Restauration des plages, des bancs de sable et des dunes



Objectif de la SFN

Protéger contre les ondes de tempête et les vagues et contre l'élévation du niveau de la mer. Les plages agissent comme un tampon naturel en dissipant grandement l'énergie des vagues. Cela réduit les dommages causés aux reliefs durs à l'arrière de la plage et aux biens de l'arrière-pays par le débordement, les inondations, l'érosion ou l'action directe des vagues. Encourager le développement de la flore dunaire et l'utilisation des dunes comme tampons physiques face aux vagues et fournir des barrières contre les inondations dues aux vagues et à l'élévation du niveau de la mer. La plantation de végétation contribuera non seulement à prévenir l'érosion, mais aussi à accélérer le rétablissement naturel après les dégâts causés par les tempêtes.

- En ce qui concerne **la protection naturelle des plages**, les mesures de stabilisation de l'arrière-plage, telles que les clôtures, la plantation de végétation ou

la gestion des sentiers, peuvent être utilisées pour protéger la plage existante, parallèlement à d'autres mesures.

- Dans les cas de **reconstitution des plages**, des matériaux sont ajoutés à une plage existante ou de nouvelles plages sont créées artificiellement.
- Le **recyclage des plages** consiste à redistribuer les matériaux, en les prenant là où ils se sont naturellement accumulés pour les amener en aval du bord de mer.
- La **plantation de végétation de plage** a pour objectif d'aider les racines des plantes à rester en place et de contribuer à la stabilisation de la zone. Cela réduit également l'érosion provoquée par les eaux de ruissellement et renforce les dunes.

La liste des espèces adaptées à la restauration des dunes et des plages en Haïti peut être consultée dans l'annexe 3.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride ; combinée avec des épis, des brise-lames en mer et la création de récifs coralliens artificiels.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Combinaison avec la reconstitution, le réaménagement et le recyclage des plages. Combinaison avec des interventions dures telles que des brise-lames en mer qui peuvent être utilisés pour réduire la perte de sédiments. Les revêtements peuvent être très efficaces s'ils sont placés derrière la plage, de manière à protéger son pied.



Coût de mise en œuvre

Alimentation de la plage de 3-21³⁶ \$ É.-U. / m³ avec un rapport bénéfice-coût de 0,28 à 1-68⁴⁰. Restauration/revégétalisation des dunes de 7 636 \$ É.-U. à 13 888 \$ É.-U./ha⁴⁸ avec entretien annuel pour la restauration des dunes entre 333 \$ É.-U.-2 526 \$ É.-U./ha/an⁴⁷



Avantages connexes

Biodiversité. Les plages apportent une richesse résidents et contribuent à soutenir l'économie touristique locale.



Risques pour la durabilité de la SFN

Pour réussir une restauration, il est essentiel d'éliminer l'afflux du public dans la zone où l'action est menée. Pour ce faire, il est nécessaire d'effectuer divers travaux pour protéger le cordon dunaire, notamment la pose de clôtures, l'adaptation des accès, la construction de passerelles et la mise en place de panneaux d'information.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Lors du choix de reconstitution des plages, le plan doit tenir compte des sources marines et terrestres disponibles localement. En général, l'entretien sera d'autant plus nécessaire si cela est combiné à une structure dure. En ce qui concerne la végétation des dunes, il est essentiel de choisir les emplacements et le moment appropriés pour la plantation, de prévoir des mécanismes de protection pour laisser les systèmes racinaires s'établir et de sélectionner les espèces appropriées en fonction des conditions spécifiques du site.

Les travaux d'entretien consistent principalement à contrôler et à promouvoir l'évolution et le développement appropriés des plantations et à vérifier qu'elles acquièrent la couverture et la taille souhaitées au fil du temps, en maintenant des conditions de conservation et une dynamique adéquate.

Il sera également nécessaire d'effectuer un suivi continu de l'état du sable et de l'état général de conservation des installations telles que les passerelles, les clôtures, les panneaux, etc., et de réparer les éventuels dommages.

L'exploitation et l'entretien incluront des inspections visuelles, des relevés de profil de plage, des photos d'aspects fixes et des photographies aériennes.



SFN11

Restauration et conservation des herbiers marins



Objectif de la SFN

Atténuer les vagues et stabiliser les sédiments⁴⁸ (de manière plus fiable dans les eaux peu profondes et les environnements de vagues à faible énergie). Réduire la vitesse du courant. Le fait de réduire la hauteur des vagues qui atteignent le rivage peut limiter les inondations.

Les herbiers marins sont des plantes à fleurs qui poussent dans les environnements marins entièrement salins. Ils commencent près du rivage et s'étendent sous la surface de l'eau jusqu'à une profondeur maximale de 30 m, selon la clarté de l'eau.



Les habitats peu profonds les plus courants (jusqu'à une profondeur de 15 m) sont constitués de fonds marins sablonneux avec ou sans herbe à tortue (*Thalassia testudinum*) ou d'étendues d'herbe à tortue mélangée à de l'herbe à lamantin (*Syringodium filiforme*) et à divers types d'algues. Cette végétation est une source importante de productivité primaire, libérant de l'oxygène et des nutriments pour les espèces marines et servant à stabiliser les substrats mous. Les prairies sous-marines fournissent de la nourriture à de nombreuses espèces d'herbivores, dont les poissons et le lamantin des Antilles (*Trichechus manatus*) (cinquième rapport national de la CDB d'Haïti).



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Interactions fonctionnelles avec les mangroves et les écosystèmes coralliens. Il a été démontré que l'utilisation des trois habitats ensemble offre une meilleure protection qu'un seul habitat ou que la combinaison de deux habitats.



Avantages connexes

Biodiversité, refuge pour les organismes calcifiants, habitat clé (lieux de frai, d'alevinage et d'élevage) ; les herbiers marins jouent un rôle important en tant que puits de carbone : comme la biomasse augmente avec l'acidification des océans, la séquestration du carbone est accrue ; pêche.



Risques pour la durabilité de la SFN

Pollution apportée par les pluies et érosion sédimentaire créée par les houles cycloniques qui affectent certaines espèces d'herbiers marins, exposition due aux marées basses barométriques. Impact des pressions anthropiques : les pieds des phanérogames marines peuvent être endommagés mécaniquement par l'utilisation d'engins de pêche tels que les engins traînants, les pièges et les outils utilisés lors de la pêche à pied ; impact des ancrages et des hélices de bateau sur les herbiers marins ; suppression des prairies dans les zones de baignade pour le « bien-être » des touristes ; impact de l'extraction de matériaux de construction en corail ou en sable ; développement d'infrastructures telles que des murs de défense, pollution indirecte provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Une fois la transplantation terminée, les sites doivent être surveillés pour déterminer les taux de survie, la densité des pousses et la couverture des greffons. Des informations et une signalisation suffisantes doivent être maintenues, ainsi que des systèmes de surveillance pour empêcher l'entrée dans les zones protégées et les zones en cours de restauration, et pour éviter les engins de pêche qui pourraient causer des dommages. Il est recommandé de prévoir et de maintenir une bonne organisation de l'amarrage des bateaux.



SFN12

Gestion des zones humides naturelles



Objectif de la SFN

Agir en tant que « tampons » et donc remplir des fonctions importantes en ce qui concerne la protection des communautés, des écosystèmes et des biens. Ces fonctions sont les suivantes : contrôle des sédiments et de l'érosion ; réduction du ruissellement des eaux pluviales par infiltration. La protection des zones humides adjacentes et en amont de la route pourrait être une composante importante d'une stratégie de régulation des inondations basée sur les services écosystémiques. Inversement, si les zones humides étaient dégradées ou recouvertes d'un revêtement, cela pourrait compromettre gravement le service de régulation des inondations.

La gestion des zones humides concerne aussi les marécages et les marais. La gestion de ces zones à des fins de protection comprend deux aspects majeurs : l'abri de celles-ci des pressions humaines directes et le maintien des processus naturels dans les terres environnantes.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Gabions et autres systèmes de contrôle de l'érosion.



Coût de mise en œuvre

Écosystémique / hybride Paysage / emprise routière
Pour les terres humides côtières, cela peut aller de 85 000 US\$ à 230 000/ha (67 000 US\$/ha³⁵) avec un entretien annuel d'environ 25 US\$/m/an⁴⁹ et un rapport avantages-coûts entre 6 – 8.72⁴⁰



Avantages connexes

Loisirs, qualité de l'eau, transformation et élimination des nutriments ; réduction des impacts humains en limitant la facilité d'accès ; biodiversité et barrière contre l'invasion d'espèces exotiques. Réduction de la température de l'eau, de la pollution, amélioration de l'accès à l'eau pour les communautés locales. La restauration ou la construction d'une végétation qui améliore la qualité de l'eau peut être un moyen rentable d'atténuer les incidences des routes et de garantir la conformité des projets routiers aux exigences réglementaires⁴⁹.



Risques pour la durabilité de la SFN

Pollution ; impacts de l'activité humaine directe sur l'écosystème.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Les activités de base consistent généralement à éliminer la végétation exotique, à restaurer le couvert végétal des zones défrichées à l'aide d'une végétation indigène des zones humides, tout en préservant le cadre juridique.



SFN13

Stabilisation des pentes côtières à l'aide de matériaux hybrides



Objectif de la SFN

Protéger les infrastructures de l'érosion côtière par les vagues, les courants et le vent.



Revêtements : Ils sont placés sur des structures inclinées ou contre un mur vertical pour protéger la côte contre l'érosion due aux charges environnementales (telles que les vagues, les courants et le vent) et aux charges géotechniques, et pour réduire le débordement des vagues et les dommages/inondations des terres situées derrière, qui en résultent. Il s'agit généralement de surfaces perméables, comme des roches, un grillage métallique ou un asphalte ouvert/sable enrobé. Ils sont flexibles et permettent un certain degré de mouvement ou de déformation dû au tassement. L'évacuation des eaux de débordement doit être examinée au cas par cas.

Épis: ce sont des structures étroites de hauteur et de longueur variables (plutôt longues) en principe construites perpendiculairement au littoral. Ils sont utilisés pour contrôler et gérer le mouvement naturel des matériaux de la plage. Un système d'épis peut retenir ou ralentir la dérive littorale des matériaux en les accumulant dans des baies. Les épis dévient également les courants de marée en les éloignant du rivage. Des épis en bois ajustables peuvent être envisagés. Ils sont constitués de planches amovibles entre les piles. Les gabions ne sont pas durables et sont donc considérés comme une solution à court terme.



NBS objective



Gabions : paniers grillagés remplis de façon compacte de pierres, de galets ou de cailloux concassés. Ils sont couramment utilisés pour prévenir l'érosion et pour stabiliser les berges, les falaises et les pentes de dunes. Les gabions sont adaptés aux plages à faible énergie et sont idéalement placés au-dessus de la zone de marée car ils ne sont pas assez durables pour résister à l'action directe et régulière des vagues⁸⁵.



Structures de sacs de sable : Elles arrêtent ou ralentissent temporairement les effets de l'érosion côtière. Elles sont généralement placées à l'avant et parallèlement au rivage pour empêcher les forces destructrices de la mer d'atteindre les structures côtières. Elles ne doivent être utilisées que comme des interventions à court terme ou temporaires.

Tubes de géotextile remplis de sédiments: Ils sont placés parallèlement au rivage pour dissiper les vagues à haute énergie. Les tubes créent de nouvelles voies pour l'évacuation des matériaux de dragage et produisent une surface dure sur laquelle les récifs peuvent être construits.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Protection des plages, plantation de végétation de plage.



Avantages connexes

Biodiversité, habitat de pêche



Risques pour la durabilité de la SFN

Les revêtements peuvent perturber les processus naturels du littoral en coupant l'approvisionnement côtier en matériaux et peuvent également détruire les habitats du littoral et réduire la largeur des plages intertidales. Les phénomènes climatiques peuvent dégrader les structures à court terme, telles que les gabions et les sacs de sable.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Bien qu'il soit possible de prévoir la durée de vie d'un ouvrage, les structures peuvent être endommagées plus tôt ou plus tard. Des phénomènes extrêmes tels que les ouragans, mais aussi les développements et les activités en cours dans la région, peuvent causer des dommages. Une inspection visuelle doit être effectuée chaque année et après tout phénomène extrême ou toute grosse tempête.



SFN14

Réalignement contrôlé du littoral



Objectif de la SFN

Gérer les risques d'inondation. Faire face à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête. Cette stratégie de gestion vise à « créer des possibilités permettant aux écosystèmes côtiers de résister à l'élévation du niveau de la mer, en supprimant les structures de défense côtière pour permettre aux eaux montantes de s'infiltrer. Cette approche a pour avantage de permettre aux zones côtières de conserver leurs écosystèmes naturels et les services écosystémiques associés, tout en offrant une protection aux établissements humains locaux. Elle permet également de réorienter les ressources en délaissant les défenses dures et coûteuses. Une fois que les marais salants se développent, il est peu probable qu'une érosion à grande échelle se produise, car la végétation des marais salants favorisera la sédimentation et la création de la zone qui réduira les vagues et améliorera la sécurité.

Diagram: The process of managed realignment.

Source: CoastAdapt. Adapted from ComCoast 2006.



Prior to realignment

Coast defences present
Little intertidal habitat



Managed realignment

Coast defences breached
Creation of intertidal habitat



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Les infrastructures naturelles peuvent être utilisées pour protéger les infrastructures construites, afin de prolonger leur durée de vie et leur permettre de fournir une meilleure protection contre les tempêtes et des avantages supplémentaires. Les profils de plage plus larges obtenus grâce au retrait absorberont une plus grande proportion de l'énergie de l'incident. La gestion des bassins versants et la réhabilitation des habitats peuvent s'effectuer parallèlement au réaménagement des berges.



Avantages connexes

Biodiversité, habitat de poissons, atténuation de la perte d'habitats intertidaux, séquestration et stockage du carbone, utilisation à des fins récréatives.



Risques pour la durabilité de la SFN

Option souvent très controversée sur les plans politique et social. Ces systèmes sont rarement acceptés par le public. Le réalignement contrôlé risque également d'être très perturbateur et coûteux si un déplacement des infrastructures côtières est nécessaire. Si les infrastructures sont abandonnées plutôt que déplacées, il faut veiller à ce que les zones voisines ne se retrouvent pas isolées, ce qui entraînerait une augmentation de la pauvreté.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Des inspections périodiques doivent être effectuées pour suivre, entre autres, l'évolution de l'accrétion/érosion sur le site et en dehors du site, les paramètres physico-chimiques des sédiments, la végétation, la faune et la qualité de l'eau.



Expérience régionale

À ce jour, l'approche de réalignement contrôlé n'a été appliquée que dans le nord-ouest de l'Europe et en Amérique du Nord, où les marais salants constituent l'habitat intertidal dominant. Il semble n'y avoir aucune raison empêchant la création d'autres habitats de zones humides, tels que les mangroves, par le biais du réalignement, mais cette approche n'a pas été entreprise jusqu'à présent⁵⁰.



SFN15

Enrochement et végétation pour protéger les piles et les culées des ponts



Objectif de la SFN

Protéger contre l'affouillement local des piles et des culées dû à l'érosion par l'eau et les sédiments.

Il convient de noter que les processus d'érosion subis par les piles et les culées des ponts font partie d'un système intrinsèque qui implique à la fois le cours de la rivière et la végétation à l'intérieur et autour de celle-ci.

Il existe différentes solutions pour réduire la vitesse de détérioration des structures. L'utilisation d'enrochements et de végétation est l'une des plus viables d'un point de vue économique et technique.

Cette solution consiste à placer des roches autour des piles et des culées, et à planter des plantes aquatiques. Comme mesure d'urgence, l'installation de sacs de sable peut être envisagée autour des piles ou des culées pour une protection supplémentaire.

Des revêtements peuvent également être placés dans les pentes à côté des culées, pour les protéger des glissements de terrain.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Pour une réelle protection des ponts, toutes les SFN applicables telles que la protection des pentes des berges et la restauration des écosystèmes doivent être mises en place en amont. Il est nécessaire de réfléchir à la protection à une plus grande échelle, pour s'assurer de la présence, en amont, d'un sol poreux qui infiltre l'eau et la transporte vers les aquifères et non vers les cours de surface.



Avantages connexes

Biodiversité.



Risques pour la durabilité de la SFN

Les phénomènes extrêmes peuvent endommager la solution mise en œuvre.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Il est important d'effectuer des inspections techniques sur les structures des ponts en prêtant une attention particulière aux signes de pathologies naissantes qui indiquent des dommages ou des défauts. L'état de l'enrochement et de la végétation doit être surveillé pour remplacer les parties endommagées ou corriger les éventuels défauts.



SFN16

Ouvrages sur les berges pour protéger les ponts



Objectif de la SFN

Les ouvrages sur les berges peuvent être efficaces pour la zone à protéger, mais ils peuvent également modifier le système d'écoulement naturel et avoir des effets indésirables sur les zones en aval. Il est essentiel de connaître le comportement de l'écoulement, les processus d'érosion et les forces qui peuvent agir sur les structures. Une connaissance insuffisante de ces éléments peut aboutir à un échec du système de protection proposé.

Bien que ces mesures soient en général partiellement ou totalement détruites ou emportées par les eaux, il est plus économique et plus facile de les réparer que de réparer le pont.

- **Digues de canalisation** : structures construites à partir des culées d'un pont et qui s'étendent en amont. Elles doivent être situées parallèlement aux culées et la distance entre elles doit être égale à la distance entre les murs de culée. Elles sont construites avec un remblai de terre ou de sable qui doit de préférence être protégé par des rochers et au moins par de l'herbe ou de la végétation. Des filtres peuvent être nécessaires ou la granulométrie peut devoir être modifiée pour éviter la perte de matériaux fins.
- **Éperons** : leur but est de dévier doucement le courant et de retenir les objets susceptibles d'obstruer le cours d'eau. Ils nécessitent une surveillance et éventuellement un nettoyage partiel ou une reconstruction. Les éperons ou les brise-lames peuvent être construits avec des roches, des gabions, du bois ou du bambou.



Type de SFN

Fondée sur les écosystèmes/hybride.



Avantages connexes

Biodiversité, en cas de restauration du couvert végétal.



Échelle d'intervention

Paysage/emprise de la route.



Risques pour la durabilité de la SFN

Les phénomènes extrêmes peuvent endommager la solution mise en œuvre.



Potentiel accru avec d'autres SFN

Pour une réelle protection des ponts, toutes les SFN applicables, telles que la protection des pentes des berges et la restauration des écosystèmes, doivent être mises en place en amont. Il est nécessaire de réfléchir à la protection à une plus grande échelle, pour s'assurer de la présence, en amont, d'un sol poreux qui infiltre l'eau et la transporte vers les aquifères et non vers les cours de surface.



Considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien

Il est important d'effectuer des inspections techniques sur les structures des ponts en prêtant une attention particulière aux signes de pathologies naissantes qui indiquent des dommages ou des défauts. L'état des structures des berges doit être surveillé pour remplacer les parties endommagées, corriger les éventuels défauts ou détecter les effets négatifs potentiels sur les zones en aval, dus aux changements de régime d'écoulement.





ANNEXES

ANNEXE 1 Ressources utiles

ANNEXE 2 Glossaire

ANNEXE 3 Méthodologie employée pour produire les cartes de vulnérabilité d'Haïti et résultats

ANNEXE 4 Liste des espèces appropriées aux SFN en Haïti : forêts

ANNEXE 5 Étapes 1 à 4 : identification de solutions fondées sur la nature pour la résilience des infrastructures routières en Haïti

ANNEXE 1

Ressources utiles

La littérature existante sur l'application des NBS pour renforcer la résilience des infrastructures de transport est rare et concerne l'utilisation des NBS pour la protection des infrastructures de transport dans les zones côtières.

Le tableau 28 fournit une liste de certaines des lignes directrices récentes et d'autres documents pour l'utilisation des NBS, y compris une partie de la littérature existante sur l'application de ces approches pour la protection des infrastructures de transport.

 **Tableau 30:** Liste des lignes directrices et des rapports existants pour l'application des NBS dans le secteur des transports pour l'utilisation générale des NBS

Ressource	Année de publication	Description - Objectifs	Application
SFN ET INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT			
Lignes directrices			
Des solutions basées sur la nature pour la résilience des routes côtières : Guide de mise en œuvre (Département des Transports des États-Unis. Administration fédérale des routes, août 2019)	2019	Le guide vise à fournir aux professionnels du transport des renseignements pertinents, opportuns et scientifiques concernant le processus complet de mise en œuvre du projet pour les solutions axées sur la nature qui leur permettront d'envisager de telles solutions pour protéger les routes côtières ⁸⁷ dans le cadre d'un portefeuille plus large, ou système, de mesures de résilience, dans des conditions allant des événements météorologiques typiques aux phénomènes météorologiques extrêmes et à l'élévation du niveau de la mer ⁸⁸ . Le guide aborde divers exemples de solutions fondées sur la nature applicables aux zones côtières (c'est-à-dire les marais marécageux, les mangroves, les forêts maritimes, les récifs, les plages et les dunes), afin d'atténuer les inondations causées par les ondes de tempête, les dommages causés par les vagues, l'érosion, le recul du littoral et les impacts potentiels de l'élévation du niveau de la mer, qui constituent des menaces pour les infrastructures côtières.	Processus global de mise en œuvre de l'ÉNB pour la protection de l'infrastructure de transport dans les zones côtières
Conception d'infrastructures vertes pour les projets de transport. Feuille de route pour la protection de la biodiversité de la faune sauvage en Asie (BAsD, décembre 2019)	2019	Le rapport vise à donner un aperçu des considérations relatives à l'intégration proactive des mesures de protection écologiques. Ces mesures comprennent des activités de gestion, à la conception, de planification et de conception dans les projets d'infrastructures vertes pour les routiers et ferroviaires afin d'équilibrer la construction de biodiversité avec la conservation de l'Asie. Ces considérations s'appliquent à la fois aux projets de transport nouveaux et existants, et même aux applications autonomes de « modernisation » pour faire face aux impacts existants sur la biodiversité.	Améliorer la Biodiversité grâce à la conception d'infrastructures de transport écologiques pour les infrastructures de transport
Guide sur les infrastructures rurales vertes (Ministère du développement rural, Cambodge, mars 2019)	2019	Le Guide sur l'infrastructure rurale verte du MRD (un guide d'adaptation pour le secteur de l'infrastructure rurale) a été élaboré pour soutenir la mise en œuvre efficace et sur le terrain du Plan d'adaptation aux changements climatiques du Cambodge (CCAP 2014-2018). Le guide fournit des principes directeurs et des idées aux décideurs, aux planificateurs et aux praticiens sur la façon d'appliquer la résilience climatique à leur planification et à la mise en œuvre de leurs projets. Le guide est divisé en trois parties et comprend 30 technologies/mesures d'adaptation et 12 études de cas. Il présente un tableau matriciel des technologies/mesures d'adaptation pour le développement de l'infrastructure rurale, décrit certaines technologies/mesures d'adaptation appropriées pour le développement durable des routes, des canaux, des réservoirs, des pentes des remblais et des berges des cours d'eau, ainsi que des systèmes durables d'approvisionnement et de gestion de l'eau en milieu rural, et des études de cas sur les domaines dans lesquels les technologies d'adaptation respectives ont été appliquées au Cambodge et dans d'autres pays.	Technologies/mesures d'adaptation pour le développement des infrastructures rurales (y compris route, canal, réservoir, pente des remblais, etc.)



Ressource	Année de publication	Description - Objectifs	Application
Ingénierie communautaire pour les bords des routes au Népal (Devkota et al., 2014)		Le manuel fournit des conseils aux collectivités et aux organismes gouvernementaux locaux sur l'occurrence, l'évaluation et l'atténuation des glissements de terrain et de l'érosion causés par la construction de routes. Il s'agit d'une contribution importante à l'explication de pratiques de bio-ingénierie à faible coût pour les communautés, les comités routiers et les groupes de citoyens qui a été utilisée pour soutenir les travaux de prolongement des routes du Népal afin d'améliorer la sécurité et la qualité des routes rurales en terre dans le pays.	Utilisation de pratiques de bio-ingénierie à faible coût pour les routes rurales en terre.
Rapports, articles et documents			
Livre blanc : Nature Based Solutions for Coastal Highway Resilience (Département des transports des États-Unis. of Transportation. Federal Highway Administration, février 2018)	2018	Bien que les solutions basées sur la nature aient été largement utilisées dans un large éventail de contextes côtiers, elles ne sont pas couramment déployées dans le secteur des transports. Dans certains cas, la compréhension des outils et méthodes d'ingénierie pour concevoir des solutions basées sur la nature pour atteindre un résultat spécifique fait défaut. Ce livre blanc aborde ces questions en fournissant des exemples de solutions basées sur la nature et en mettant en évidence les meilleures données scientifiques disponibles qui décrivent leur performance en tant que solutions pour la résilience des autoroutes côtières. Ce livre blanc sert de contribution à une prochaine série d'échanges régionaux entre pairs sur les solutions basées sur la nature, et constitue une étape progressive vers l'élaboration d'un guide de mise en œuvre pour l'utilisation de solutions basées sur la nature pour améliorer la résilience des autoroutes côtières aux événements extrêmes et à l'élévation du niveau de la mer.	Des exemples d'ÉNB ont été appliqués à la résilience des routes côtières.
RESSOURCES GÉNÉRALES SUR LES SFN			
Lignes directrices			
L'ingénierie avec la nature : un atlas, volume 2 (Bridges et al., 2018)	2021	L'ingénierie avec la nature : un atlas, volume 2 présente les principes et les pratiques EWN « en action » à travers 62 projets du monde entier. Ces projets exemplaires démontrent ce que signifie s'associer à la nature pour fournir des solutions d'ingénierie avec des avantages triples. La collection de projets inclus a été développée et construite par de nombreux gouvernements, le secteur privé, des organisations non gouvernementales et d'autres organisations. Par des photographies et des descriptions narratives, l'Atlas EWN a été développé pour inspirer les lecteurs et les praticiens intéressés avec le potentiel de concevoir avec la nature.	Portefeuille diversifié d'études de cas où l'approche EWN a été appliquée
Guide pratique pour la mise en œuvre d'une infrastructure verte-grise (Communauté de pratique green-gray, 2020). ⁹⁰	2020	Le guide décrit un ensemble d'outils, d'expériences (études de cas) et de techniques qui peuvent être appliqués pour tirer parti des investissements à court terme afin de changer fondamentalement la pratique du génie civil et de la construction vers la conception et la construction avec la nature, en utilisant une approche d'infrastructure hybride vert-gris, qui offre des avantages de la biodiversité et de l'adaptation au climat communautaire.	Processus global à suivre dans la mise en œuvre des interventions hybrides
Intégration vert et gris. Création d'une infrastructure de nouvelle génération (Browder et al., 2019)	2019	Ce rapport conjoint de la Banque mondiale et du World Resources Institute vise à guider les fournisseurs de services des pays en développement et leurs partenaires sur la façon d'intégrer les systèmes naturels dans leurs programmes d'infrastructure de manière à mieux protéger les populations et à atteindre les objectifs de prestation de services. Il fournit des idées, des solutions et des exemples qui guideront la réflexion de la Banque mondiale sur la façon dont « mettre la nature au travail » peut aider à remplir ses mandats fondamentaux liés à la réduction de l'extrême pauvreté, à la promotion d'une prospérité partagée et à la relève des défis d'adaptation et de résilience aux changements climatiques. Le rapport s'adresse à un large public d'intervenants qui sont essentiels pour faire progresser l'intégration de solutions d'infrastructure vertes et grises sur le terrain.	Approche d'intégration de solutions d'infrastructure vertes et grises.





Ressource	Année de publication	Description - Objectifs	Application
Thinknature Nature-based Solutions Handbook (UE, 2019)	2019	<p>Développé dans le cadre du projet ThinkNature, ce manuel vise à rassembler et à promouvoir des connaissances de pointe concernant les solutions fondées sur la nature (SFN), comprenant un guide complet pour tous les acteurs concernés. À cette fin, chaque aspect de l'ÉNB est étudié, de l'élaboration de projets au financement et à l'élaboration des politiques, et est présenté de manière concise et complète.</p> <p>Ce manuel contribue à élargir la base de connaissances sur l'efficacité des SFN, à soutenir la mise en œuvre des SFN en améliorant leur reproductibilité et leur mise à l'échelle, en utilisant les connaissances et l'expérience des parties prenantes et en proposant une approche méthodologique globale pour l'innovation.</p>	Processus global de mise en œuvre de l'ÉNB
L'ingénierie avec la nature : un atlas (Bridges et al., 2018)	2018	Cet atlas vise à mettre en évidence et à partager des exemples de l'ingénierie avec la pratique [®] nature - et des efforts pour obtenir simultanément des avantages techniques, environnementaux et sociaux - du monde entier. Ces projets sont présentés et pris en compte dans cet atlas à l'aide d'une optique d'ingénierie avec la nature [®] comme moyen de révéler l'utilisation d'approches fondées sur la nature et l'éventail des avantages qui peuvent être obtenus. Cet atlas est une collection de 56 projets qui illustrent un portefeuille diversifié de contextes, de motivations et de résultats positifs. Les projets ont été élaborés en collaboration pour intégrer les processus naturels dans les stratégies d'ingénierie qui soutiennent la navigation, la gestion des risques d'inondation, la restauration des écosystèmes ou d'autres fins.	Portefeuille diversifié d'études de cas où l'approche EWN a été appliquée
Application des protections contre les inondations fondée sur la nature : principes et orientations de mise en œuvre (Banque mondiale 2017)	2017	Le document vise à présenter cinq principes (décrivant les considérations clés à prendre en compte lors de la planification de l'ÉNB) et des directives de mise en œuvre (décrivant le calendrier et les activités nécessaires à la planification, à l'évaluation, à la conception, à la mise en œuvre, à la surveillance, à la gestion et à l'évaluation de l'ÉNB) pour la gestion des risques d'inondation, en tant que solution de rechange ou complémentaire aux mesures d'ingénierie conventionnelles. Il s'adresse aux professionnels de la gestion des risques et de l'adaptation au climat, aux ONG, aux donateurs et aux organisations internationales.	Processus global de mise en œuvre de l'ÉNB pour la gestion des risques d'inondation
Nature-based Solutions to address global societal challenges (Union internationale pour la conservation de la nature. 2)	2016	Ce rapport vise à fournir aux praticiens de la conservation et du développement, aux décideurs et aux chercheurs, ainsi qu'aux organisations de la société civile, une base utile pour comprendre ce que les solutions basées sur la nature impliquent et ce qu'elles offrent en termes d'avantages pour l'homme et la nature, en contribuant à résoudre les défis sociétaux. Le rapport propose un cadre de définition pour la SFN, y compris un ensemble de principes généraux pour toute intervention de la SFN. Le rapport définit également la portée de la ÉNB comme un concept général englobant un certain nombre d'approches écosystémiques différentes. Le rapport examine plusieurs paramètres potentiels qui peuvent être utilisés pour construire un cadre opérationnel, sur la base duquel l'efficacité, l'efficacité et la durabilité des interventions de SFN peuvent être systématiquement évaluées. Il décrit comment l'approche écosystémique offre une base solide pour le concept de SFN. Enfin, il présente dix études de cas d'application de la SFN dans le monde entier, qui représentent la gamme de services écosystémiques et de défis sociétaux qui peuvent être traités par les interventions de la SFN, examine certaines des leçons tirées de ces cas et discute de l'importance de construire une base de données probantes pour la SFN afin de soutenir la réplique et la mise à l'échelle futures.	Cadre et études de cas de l'ÉNB





Ressource	Année de publication	Description - Objectifs	Application
Rapports, articles et documents			
Économie des solutions basées sur la nature : Situation actuelle et priorités futures (PNUE, 2020)	2020	Le document est consacré à l'analyse économique des SFN en fonction des avantages qu'elles procurent, en se penchant sur les trois catégories d'objectifs suivantes : l'atténuation du changement climatique, l'adaptation aux effets du changement climatique et la fourniture d'autres services écosystémiques, à la suite du maintien ou de la restauration des systèmes naturels. Il fournit un examen d'un certain nombre d'applications de ces analyses ainsi que des exemples pour illustrer des sujets d'application communs et des points conceptuels importants.	
Comprendre la valeur et les limites des solutions fondées sur la nature aux changements climatiques et à d'autres défis mondiaux (Seddon et coll., 2020)	2020	Cet article met en évidence l'essor de la SFN dans les politiques climatiques, en mettant l'accent sur leur potentiel d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques, et discute des obstacles à leur mise en œuvre fondée sur des données probantes. Il décrit les principaux défis financiers et de gouvernance liés à la mise en œuvre de la SFN à grande échelle, en soulignant les pistes de recherche supplémentaires, et souligne le besoin urgent pour les scientifiques naturels et sociaux de s'engager avec les décideurs politiques pour s'assurer que la SFN peut réaliser leur potentiel pour s'attaquer à la fois à la crise climatique et à la crise de la biodiversité tout en contribuant au développement durable. Cet article fait partie du thème « Changement climatique et écosystèmes : menaces, opportunités et solutions ».	
Solutions basées sur la nature pour la gestion des risques de catastrophe (Banque mondiale, 2019)	2019	Cette brochure vise à aider à comprendre comment la SFN peut améliorer la gestion numérique des droits, et comment commencer à intégrer ces approches dans les projets. Il est destiné au personnel des gouvernements, des institutions de financement du développement (IFD) et d'autres institutions de développement. La brochure illustre l'ÉNB à travers 14 exemples concrets, couvrant le Programme de solutions basées sur la nature, de la Banque mondiale, et les projets de la Banque mondiale qui investissent déjà dans les composantes de l'ÉNB, des exemples d'ÉNB pour trois types de dangers (inondations et érosion côtières, inondations urbaines dues aux eaux pluviales et inondations des rivières), et des conseils pour soutenir la mise en œuvre de l'ÉNB dans la DRM, y compris un examen de haut niveau des politiques émergentes et des approches de financement qui encouragent l'utilisation de l'ÉNB.	
Comparaison de la rentabilité de l'adaptation fondée sur la nature et sur les côtes : étude de cas de la côte du golfe du Mexique des États-Unis (Reguero et al., avril 2018)	2018	Le présent article applique un cadre quantitatif d'évaluation des risques pour estimer les dangers d'inondation côtière (découlant des changements climatiques et de la croissance de l'exposition économique) sur l'ensemble de la côte du golfe du Mexique des États-Unis, afin de comparer la rentabilité de différentes mesures d'adaptation, y compris les mesures fondées sur la nature (par exemple la restauration des récifs d'huîtres), les mesures structurelles ou grises (par exemple les digues) et les mesures stratégiques (par exemple l'élévation du domicile). L'étude démontre que le rapport coût-efficacité des solutions fondées sur la nature, les mesures grises et les mesures politiques, peut être comparé quantitativement, et que le rapport coût-efficacité de l'adaptation devient plus attrayant à mesure que le changement climatique et le développement côtier s'intensifient à l'avenir. Elle démontre également que les investissements dans l'adaptation fondée sur la nature pourraient répondre à de multiples objectifs en matière de restauration de l'environnement, d'ajustement aux risques d'inondation et de réduction de ceux-ci.	



ANNEXE 2

Glossaire

Acidification des océans : il s'agit de la réduction du pH de l'océan sur une longue période, généralement sur plusieurs décennies ou plus, causée principalement par le piégeage du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère, mais aussi par l'adjonction ou le retrait de substances chimiques dans l'océan. L'acidification anthropique de l'océan se rapporte à la réduction du pH causée par l'activité humaine⁹².

Adaptation fondée sur les écosystèmes (AFE) : c'est l'utilisation de la biodiversité et des services écosystémiques dans le cadre d'une stratégie d'adaptation globale visant à aider les populations à s'adapter aux effets néfastes du changement climatique. L'adaptation fondée sur les écosystèmes utilise l'ensemble des possibilités de gestion durable, de conservation et de restauration des écosystèmes pour fournir des services qui permettent aux populations de s'adapter aux effets du changement climatique. Elle vise à préserver et à accroître la résilience et à réduire la vulnérabilité des écosystèmes et des populations aux effets néfastes du changement climatique. L'adaptation fondée sur les écosystèmes s'intègre particulièrement bien dans des stratégies d'acclimatation et de développement plus larges⁹¹

Approche par écosystème : il s'agit de la Stratégie de gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources vivantes, qui favorise la

conservation et l'utilisation durable d'une manière équitable (Secrétariat de la CDB 2000).

Approches participatives : il s'agit de différentes approches impliquant les communautés dans la planification et la mise en œuvre des projets, allant de la participation passive (où les personnes sont informées ou fournissent des informations) à la consultation (où les informations fournies sont utilisées par d'autres personnes pour prendre des décisions) et à la participation collaborative ou active (où les décisions sont prises avec ou par les populations locales).

Avantages connexes : il s'agit des effets positifs qu'une politique ou une mesure visant un objectif peuvent avoir sur d'autres objectifs, indépendamment de l'effet net sur la protection sociale globale. Les avantages connexes sont souvent empreints d'incertitude et dépendent, entre autres facteurs, des circonstances locales et des pratiques de mise en œuvre. Également appelés avantages secondaires ou accessoires.

Biodiversité : la diversité biologique désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces, entre espèces et des écosystèmes (article 2, Convention sur la diversité biologique).

Connaissances indigènes ou locales : ce sont les connaissances propres à une culture ou une société donnée. Elles constituent la base de la prise de décision au niveau local en matière d'agriculture, de soins de santé, de préparation des aliments, d'éducation, de gestion des ressources naturelles et de nombreuses autres activités dans les communautés rurales. Elles contrastent avec le système international des connaissances générées par les universités, les instituts de recherche et les entreprises privées.

Exposition : il s'agit de la présence de populations, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions environnementales, de services et ressources environnementaux, d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans des lieux et des environnements qui pourraient subir des impacts négatifs.

Intervention dure : généralement utilisées dans le passé comme moyens de défense des côtes, les interventions dures désignent des structures conçues et construites par des ingénieurs.

Intervention fondée sur la nature : ce sont des projets d'intervention inspirés et soutenus par la nature. Ils fournissent un habitat aux plantes et aux animaux grâce à un examen minutieux du site et à la mise en place stratégique d'éléments tout le long de la crête jusqu'à la formation des récifs. Ils sont rentables, offrent simultanément des avantages environnementaux, sociaux et économiques et contribuent à renforcer la résilience.

Intervention hybride : c'est la combinaison d'interventions fondées sur la nature, dures et non structurelles, qui peuvent être utilisées pour protéger les infrastructures, en assurant une protection tout en fournissant d'autres avantages en termes de services écosystémiques.

Phénomène météorologique extrême : un phénomène météorologique extrême est un phénomène rare à un endroit précis et à une période donnée. La définition du terme « rare » peut varier, mais un phénomène météorologique extrême présente normalement un niveau de rareté égal ou inférieur au 10^e ou au 90^e centile d'une fonction de densité de probabilité estimée à partir d'observations. Par définition, les caractéristiques de ce qui est appelé « phénomène météorologique extrême » peuvent varier d'un endroit à l'autre dans l'absolu. Lorsqu'un phénomène météorologique extrême persiste pendant un certain temps, par exemple une saison, il peut être classé comme un phénomène climatique extrême, en particulier s'il produit des effets en moyenne ou au total extrêmes en soi (par exemple une sécheresse ou de fortes précipitations pendant une saison).

Renforcement capacités : dans le contexte du changement climatique, il s'agit du processus de développement des compétences techniques et des capacités institutionnelles dans les pays en développement et les économies en transition pour leur permettre de s'attaquer efficacement aux causes et aux résultats du changement climatique.

Résilience au changement climatique : la résilience au changement climatique est la capacité d'un système à « anticiper, absorber, accueillir, ou à se remettre des effets de phénomènes dangereux en temps voulu et de façon efficace, notamment en assurant la préservation, la restauration et l'amélioration de ses structures essentielles et de ses fonctions de base »⁵².

Risque : c'est la possibilité de conséquences lorsqu'un élément de valeur est en jeu et que le résultat est incertain, compte tenu de la diversité des

valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité de survenue de phénomènes ou de tendances dangereux, multipliée par les impacts si ces phénomènes ou tendances se produisent. Le risque résulte de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et le danger. Dans le présent rapport, le terme « risque » est utilisé principalement pour désigner les risques d'impacts du changement climatique.

Services écosystémiques: ce sont les avantages que les populations tirent des écosystèmes. Ceci inclut des services d'approvisionnement tels que la nourriture et l'eau, des services de régulation tels que le contrôle des inondations et des maladies, des services culturels tels que des avantages spirituels, récréatifs et culturels, et des services de soutien tels que le cycle des nutriments qui maintiennent les conditions de vie sur terre. Certains des services écosystémiques peuvent améliorer la capacité d'adaptation des populations au changement climatique (EM 2005).

Vulnérabilité : il s'agit du degré de sensibilité ou d'incapacité d'un système à faire face aux effets néfastes du changement climatique, y compris la variabilité et les extrêmes climatiques. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme des variations climatiques auxquelles un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.





ANNEXE 3

Méthodologie employée pour produire les cartes de vulnérabilité d'Haïti et résultats

Source d'information

Pour réaliser les cartes de vulnérabilité, il est nécessaire d'obtenir et de traiter des informations géo-spatiales provenant de différentes sources et à différentes échelles.

Les informations utilisées ont été principalement fournies par le Centre national de l'information géo-spatiale (CNIGS), notam-

ment des informations vectorielles (hydrographie, routes et limites administratives) et des informations raster (modèle numérique d'élévation acquis par LiDAR à haute résolution). Ces informations ont été compilées et traitées dans un système d'information géographique (ArcGIS, ESRI).

Figure: Traitement des données vectorielles

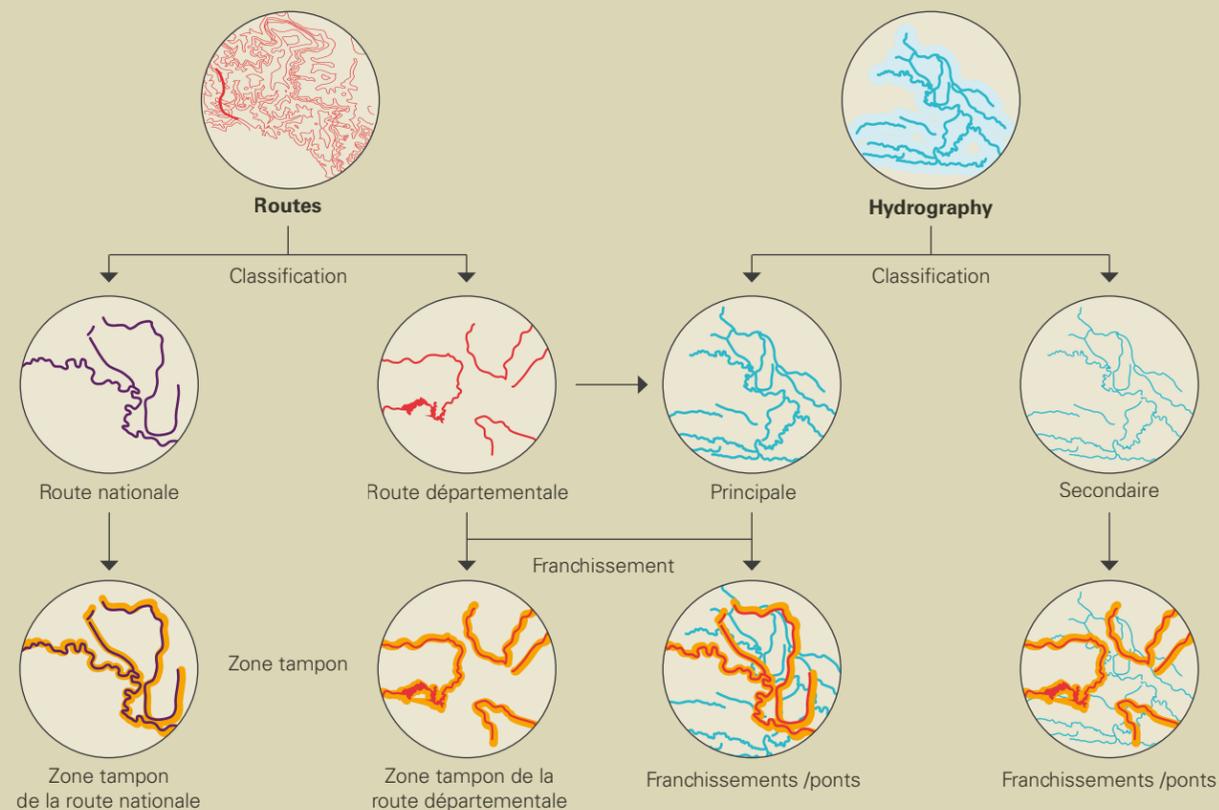
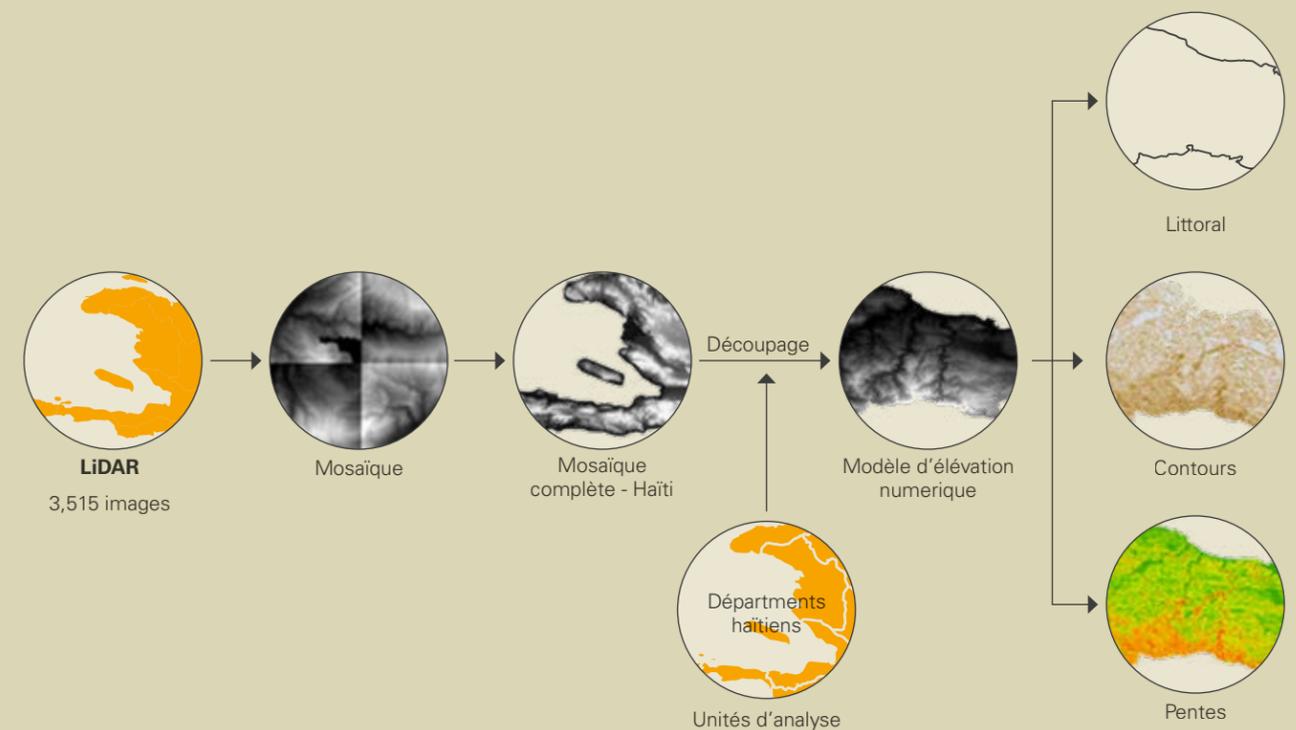


Figure: Traitement par LiDAR



En ce qui concerne les couches de type vectoriel, les informations ci-après ont été obtenues :

- Rivières principales et secondaires et masses d'eau
- Classification des principales routes (communales, départementales et nationales)
- 200 m de zone tampon comme zone d'influence des routes
- 150 m de zone tampon comme zone d'influence de l'hydrologie
- Franchissements et ponts

En ce qui concerne les données raster, 3 515 images LiDAR ont été traitées, permettant d'obtenir les informations suivantes :

- Modèle numérique d'élévation au niveau du pays et des départements
- Analyse du degré des pentes
- Lignes de contour à 50 m
- Littoral et zones susceptibles d'être inondés

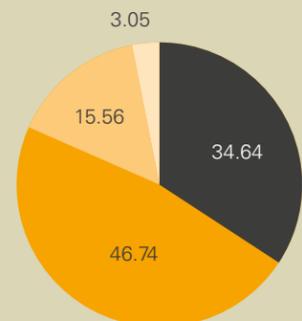
Résultats de l'analyse de la vulnérabilité

Département de Grand'anse

Le département de Grand'Anse compte environ 225 km de routes principales, dont 43 km de routes communales, 121 km de routes départementales et 59 km de routes nationales.

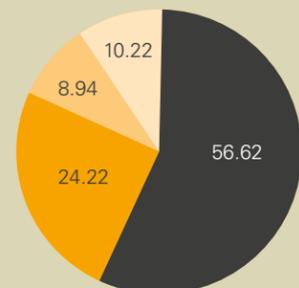
Grand'Anse

Figure: Grande de pente



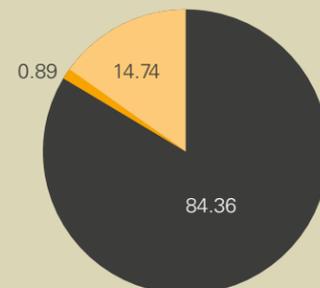
■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

Figure: Proximité côtière



■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

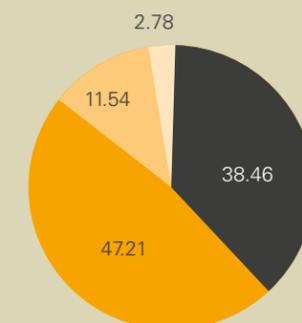
Figure: Traversée



■ No ■ Princip ■ Secund

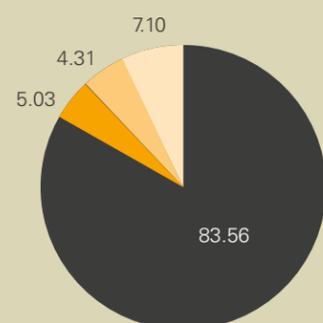
Routes communales

Figure: Grande de pente



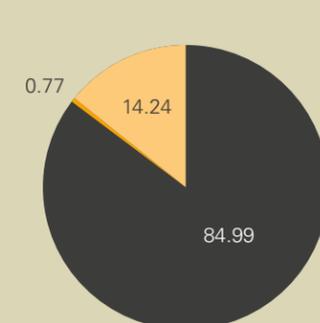
■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

Figure: Proximité côtière



■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

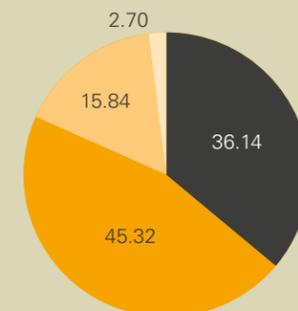
Figure: Traversée



■ No ■ Princip ■ Secund

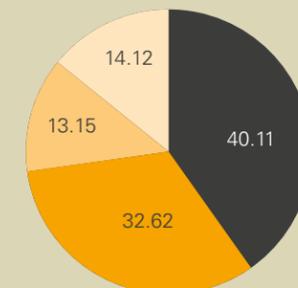
Routes Départementales

Figure: Grande de pente



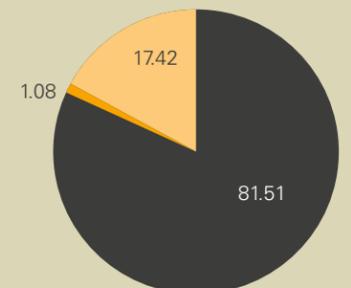
■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

Figure: Proximité côtière



■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

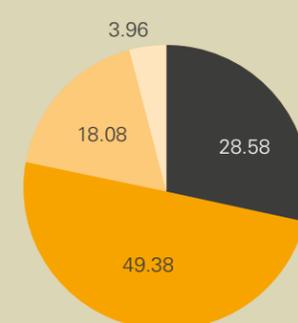
Figure: Traversée



■ No ■ Princip ■ Secund

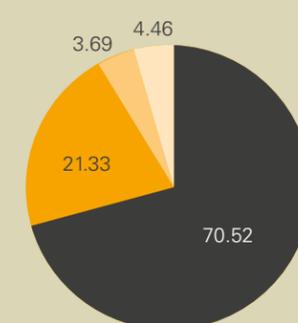
Routes Nationales

Figure: Grande de pente



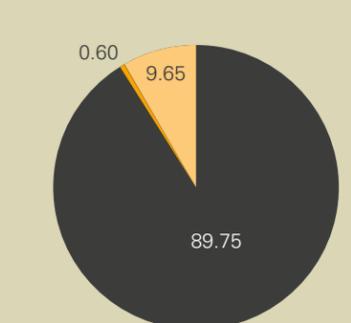
■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

Figure: Proximité côtière



■ Néant ■ Faible ■ Moyen ■ Elévé

Figure: Traversée



■ No ■ Princip ■ Secund

ANNEXE 4

Liste des espèces appropriées aux SFN en Haïti : forêts

Comme décrit à la section 2.1, Haïti possède une diversité d'écosystèmes, chacun ayant sa propre flore et faune caractéristiques. Lorsque l'espèce appropriée à un endroit donné sera déterminée, il sera important de recevoir des conseils d'écologistes expérimentés qui connaissent les habitats touchés. Les approches de l'ÉNB pourraient comprendre un objectif en deux phases, comme suit : la première phase consistera à protéger les sols exposés sur les cotés de l'impact des fortes précipitations pour réduire l'érosion et la seconde phase sera de rétablir l'habitat indigène (forêt sèche, forêt humide, zone humide, dune, etc.). Pour atteindre le premier objectif, un couvre-sol herbacé indigène et « herbeux » à croissance rapide serait plus efficace que la plantation d'arbres à croissance lente. Pour restaurer l'habitat, une diversité de plantes herbacées, d'arbustes et d'arbres indigènes appropriés à l'endroit particulier touché sera nécessaire. Dans tous les cas, il sera utile de s'assurer que les plantes proviennent

de sources durables et non dans la nature. Pour ce faire, en prévision de la nécessité de revégétaliser ou de restaurer les zones touchées, un projet peut inclure des fonds pour l'établissement, au début du cycle de vie du projet, d'une ou plusieurs pépinières de plantes indigènes afin de produire le volume requis des espèces appropriées. Ces fonds pourraient également créer de nouvelles opportunités de génération de revenus pour la population locale. Ci-après figure une liste provisoire de sélection d'espèces végétales qui pourraient être prises en considération (en supposant qu'une source durable soit disponible) pour la restauration de l'habitat et la couverture végétale. Plus d'informations peuvent être trouvées sur le site Internet figurant dans la note de bas de page³³. De plus, le Jardin botanique des Cayes et le Jardin botanique national d'Haïti (JBNH) à la Source Zabeth (Ganthier, Département de l'ouest) pourraient être en mesure de fournir l'expertise nécessaire.





Mountain Habitats



1

Pilosocereu polygonus
Cactus / Cactus



2

Melocactus intortus / Melón de costa,
siège de belle-mère / Cactus



3

Opuntia tayllorii
Nopal, Cactus / Cactus



4

Melocactus Lemairei
Cactus / Cactus



5

Opuntia tuna
Nopal, Cactus / Cactus



6

Selenicereus boeckmannii
Pitayita Nocturna Organillo / Cactus



Melochia manducata / - / Herbaceous



Salvia arborescens / Salvia / Herbaceous



Samuelssonia verrucosa / Herbaceous



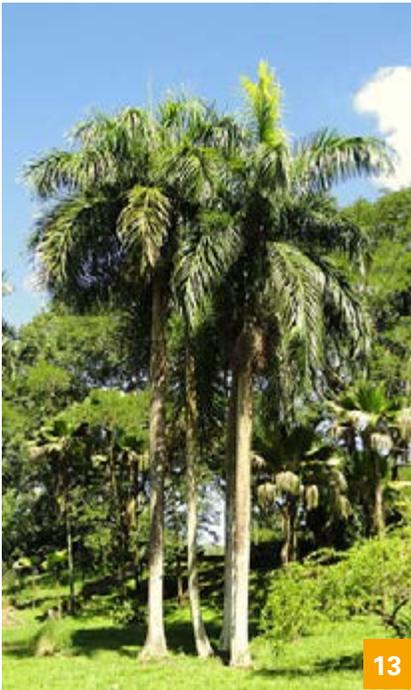
Chrysopogon zizanioides /Vetiver /herbaceous



Calyptronoma plumeriana
Manaca, / Palmier



Calyptronoma rivalis
Palm tree / Palmier



13

Coccothrinax boschiva
Guano de Barreras / Palmier



14

Coccothrinax boschiana
Guano de Barreras / Palmier



15

Cascabela thevetia
Cabalonga / Arbuste



16

Cascabela thevetia / Cabalonga / Arbuste
non-natif et très invasif



17

Croton eluteria
Cascarilla, cascarilla / Shrub



18

Phyllanthus acuminatus / Grosella
de Jamaïque / Arbre à groseille de
la Jamaïque / Arbuste



19

Senna domingensis / Senna / Arbuste -
Vulnérable natif (un bon choix s'il est possible de s'en procurer)



20

Adelia ricinella
Jia blanca (white Jia) / Arbre



21

Albizia berteriana / Coreano blanco, Abey blanco, moruno de costa / Arbre



22



23

Coccoloba diversifolia
Uvero / Habitats secs et côtiers / Arbre



24

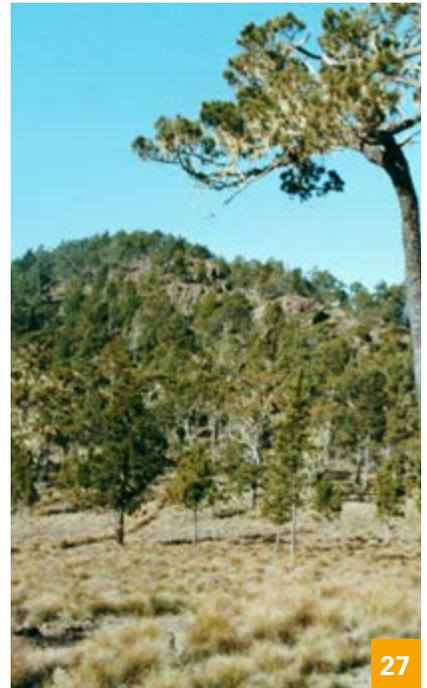
Erythrina corallodendron
Corail / Arbre



Guaiacum santum
Guayacan américain /
En voie de disparition / Arbre



Juniperus gracilior
Sabina, cèdre / En danger
critique d'extinction / Arbre



Pinus occidentalis
Créole fine, pin créole / Arbre



Posocarpus aristulatus /Palo de Cruz (Bois
de la croix) / Vulnérable / Arbre

Terres productives

Le choix de ces espèces a été fait en considérant leur valeur marchande, leur croissance relativement rapide, leur utilisation potentielle comme bois d'œuvre et leur présence actuelle dans différentes régions du pays.

Important : il faut évaluer le potentiel des effets sur l'environnement et la biodiversité dans le cas des espèces exotiques.

Espèces fruitières	Plantes fourragères et médicinales	Espèces forestières
Manguier (<i>Mangifera indica</i>)	Herbe éléphant (<i>Pennisetum purpureum</i>)	Cèdre (<i>Juniperus gracilior</i> , <i>Cedrela odorata</i> , L.)*
Avocatier (<i>Persea americana</i>)	Herbe guinée (<i>Panicum maximum</i> Jacq.)	Frêne (<i>Simaruba glauca</i>)
Oranger doux (<i>Citrus sinensis</i>)	Citronnelle (<i>Cymbopogon citratus</i> Stapf.)	Acacia (<i>Racosperma mangium</i> , <i>Acacia scleroxyla</i> , L.)
Chadèque <i>Citrus maxima</i> (aussi <i>Citrus grandis</i> ou <i>Citrus decumana</i>)		Cassia (<i>Cassia siamea</i> L. & <i>Cassia spectabilis</i> , L.)
Citron (<i>Citrus limonum</i>)		Acajou (<i>Khaya senegalensis</i>)
Carambolier (<i>Averrhoa carambola</i>)		Chêne (<i>Quercus Pedunculata</i> , <i>Catalpa longissima</i> Jacq.)
		Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>)
		Casuarina (<i>Casuarina equisetifolia</i> , L.)
		Capable (<i>Colubrina ferruginosa</i> , L.)
		Cajou (<i>Anacardium occidentale</i>)

* Note : il s'agit de deux espèces de cèdre : le *Juniperus gracilior* est une espèce endémique à l'île d'Hispaniola ; cependant en Haïti, on utilise le *Cedrela odorata* pour les activités de reboisement.

Dune, plage, restauration côtière

Les espèces côtières sont presque toutes, par définition, pantropicaux, en raison de leur distribution marine naturelle et donc répandues. Les

principales espèces qui peuvent convenir à la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature dans les zones côtières d'Haïti sont les suivantes :

Dunes



Sesuvium portulacastrum



Ipomoea pes-caprae



Canavalia rosea



Galium arenarium: gaillet des sables



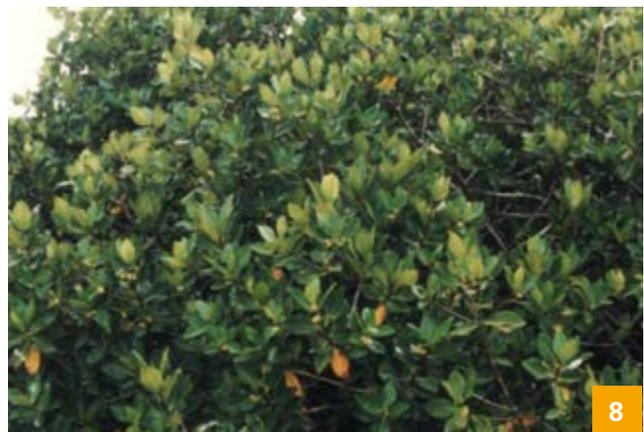
Pourpier de mer: *Honckenya peploides* Mangrove / Palétuvier : voir Annexe 1



Rizophorae mangle / Palétuvier rouge / Arbre



Avicennia germinan / ManglierJaune / Arbre



Conocarpus Erectus / Mangrove à boutons / Arbre*
 Note: ces espèces sont rarement utilisées du fait d'un manque de connaissances et de recherches sur leur développement. Il est recommandé d'effectuer une évaluation avant de les choisir en vue d'une restauration. Le palétuvier blanc (*Lagunularia racemosa*) n'est pas inclus dans cette liste, car il ne résiste pas à la salinité et à la pollution aujourd'hui courantes.

ANNEXE 5

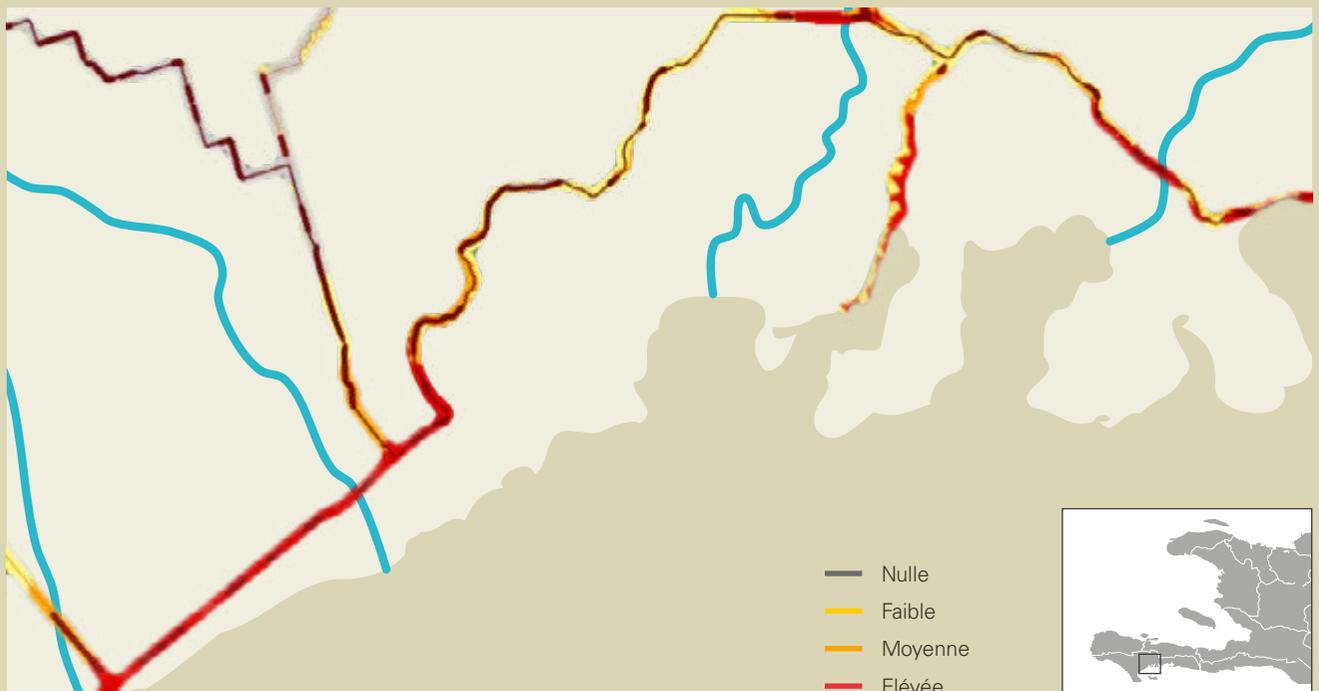
Étapes 1 à 4 : Identification de solutions fondées sur la nature pour la résilience des infrastructures routières en Haïti

Objectif de l'exercice : Cet exercice est basé sur l'approche progressive de la planification et de la mise en œuvre des SFN pour la résilience des routes en Haïti. L'objectif est de donner aux participants l'occasion d'étudier les étapes pratiques nécessaires à la planification et à la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature.

Lignes directrices : L'exercice se compose de quatre étapes consécutives, qui incluent des questions d'orientation pour indiquer aux participants les informations nécessaires à la

réalisation de chaque étape. Ces étapes sont interdépendantes, ce qui signifie que les informations de chaque étape sont nécessaires pour guider l'étape suivante. Veuillez utiliser les tableaux fournis comme format et saisir des informations résumées. Vous trouverez ci-joint une carte indiquant la vulnérabilité d'une partie du département du sud. Cette carte sera utilisée tout au long de l'exercice. Avant l'exercice, veuillez étudier la carte, en particulier la zone mise en évidence, afin de mieux comprendre le contexte.

Étude de cas : infrastructures routières dans le département du sud



Étape 1 : Analyse de la situation pour définir la portée et le problème

1.1 Définition de l'écosystème

Identifiez le type d'écosystème au sein duquel les infrastructures routières sont construites dans la partie surlignée de la carte. Veuillez répondre aux questions suivantes :



- Identifiez l'écosystème (montagne, côte, etc.) où se trouvent les infrastructures routières.
- Quel est l'état de l'écosystème ? (Par exemple, dégradé / fragile / sain) ?
- Quels sont les facteurs qui ont entraîné / entraînent la dégradation de l'écosystème ?

 **Tableau:** Exemple de réponses :

Type d'écosystème	Description	État de l'écosystème
Montagne	Il s'agit d'un écosystème fragile avec très peu de végétation. Le risque d'une érosion accélérée due à la déforestation associée à des pentes raides est très élevé. Le niveau de vulnérabilité est en effet très important par rapport aux aléas auxquels le département du sud est exposé.	Dégradé
Côte	Pour les écosystèmes côtiers, les niveaux de vulnérabilité sont élevés. En plus d'être dégradés, ces écosystèmes sont également très fragiles en raison de leur exposition à plusieurs risques anthropiques et climatiques. Ceux-ci incluent l'érosion côtière par les marées, souvent accélérée par l'exploitation non contrôlée du sable de mer, de la culture d'algues, de la déforestation, des inondations et de la sédimentation résultant des eaux et des sédiments des montagnes. Les constructions côtières anarchiques, qui obstruent les sorties naturelles des eaux de ruissellement constituent également un facteur de fragilité important.	Dégradé et fragile

Étape 2 : Évaluation des risques climatiques et de la vulnérabilité

2.1 Analyse des risques

Déterminez les dangers liés au changement climatique (fortes pluies, sécheresses, hausse des températures, niveau de la mer, glissements de terrain). Veuillez utiliser la carte et répondre aux questions suivantes :



- Quels dangers avez-vous observés dans la zone de la structure routière ?
- Parmi ces dangers, lequel a le plus grand impact sur la structure routière ?



Tableau: Exemple de réponses :

Danger	Description
Fortes pluies, glissements de terrain, sécheresses, hausse des températures	<ul style="list-style-type: none"> • En Haïti, nous avons généralement des orages/de fortes pluies qui augmentent le ruissellement des terres adjacentes, contribuant au débordement des eaux de surface et à la saturation des systèmes de drainage. • Par rapport à la situation topographique, les risques d'instabilité accrue des pentes et de glissements de terrain sont remarquablement élevés. • Par conséquent, sur les écosystèmes de montagne et d'après la carte, ces risques sont majeurs.
Élévation du niveau de la mer, glissement de terrain	<ul style="list-style-type: none"> • Dans la zone côtière, la probabilité d'affaissement des infrastructures dû à l'élévation du niveau de la mer et aux glissements de terrain peut être plus élevée. • Ces risques sont identifiés pour les infrastructures routières au niveau des écosystèmes côtiers.

2.2 Analyse de l'exposition et de l'impact des dangers

Déterminez le niveau d'exposition des infrastructures routières et décrivez les principaux impacts des dangers identifiés à la section 1.1. Veuillez utiliser la carte et répondre aux questions suivantes :



- Quels sont les impacts des risques identifiés sur les infrastructures routières et les écosystèmes ?
- Quelle est la zone des impacts potentiels ?

Danger	Impacts sur les infrastructures routières	Impacts sur les écosystèmes
Fortes pluies, glissements de terrain, sécheresse, hausse des températures	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du ruissellement de l'eau et des boues, qui peut entraîner la destruction des chaussées et la saturation des ouvrages de drainage. • L'obstruction de la circulation est un problème de sécurité majeur. • Augmentation de la fréquence des épisodes de brouillard qui réduisent la visibilité et l'accès aux routes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion • Destruction de la structure du paysage • Perte de végétation
Élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • Cela pourrait provoquer une érosion côtière et une hausse du niveau des eaux souterraines, qui pourraient causer d'énormes dégâts à la base de la route. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction des mangroves et des zones humides
Élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction du tracé 	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion des côtes et des sols
Fortes pluies	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation de la surface de ruissellement (destruction, sédimentation et autres) 	<ul style="list-style-type: none"> • Érosion des sols et dégradation de l'habitat dans les écosystèmes fragiles
Glissements de terrain	<ul style="list-style-type: none"> • Destruction ou obstruction de la route 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de sol et d'habitat

2.3 Analyse de la vulnérabilité

Déterminez le niveau de vulnérabilité dans la zone présentée sur la carte de l'étude de cas. Veuillez utiliser la carte et répondre à la question suivante :



- Quel est le niveau de vulnérabilité de la route dans la zone mise en évidence sur la carte (faible, moyen, élevé) ?



 **Tableau:** Exemple de réponses :

Le niveau de vulnérabilité de la route dans la zone mise en évidence sur la carte est généralement moyen, avec un niveau de vulnérabilité élevé sur quelques segments.

Étape 3 : Identification des options de solutions fondées sur la nature et classement par ordre de priorité

3.1 Identification des solutions fondées sur la nature

Sélectionnez au maximum deux solutions fondées sur la nature dans le catalogue de solutions (sixième partie du guide) pour éviter/atténuer les impacts identifiés au point 2.2 et réduire la vulnérabilité des infrastructures routières. Veuillez répondre aux questions suivantes :



- Quelles solutions fondées sur la nature (tirées du catalogue de solutions) peuvent réduire les impacts identifiés sur les infrastructures routières et l'écosystème environnant ?
- Comment la solution vise-t-elle exactement à réduire les impacts identifiés ?
- Quels acteurs devraient être impliqués dans la planification et la mise en œuvre de la solution ?

 **Tableau:** Exemple de réponses :

SFN	Impacts traités	Principaux acteurs
Mesure 1 : SFN1 – Stabilisation des flancs de montagne : principe général	Protection contre les glissements de terrain et l'érosion	MTPTC, MDE, communauté territoriale
Mesure 2 : SFN6 – Conservation et Restauration des mangroves	Érosion côtière	MTPTC, MDE, MARNDR, mairie, CASEC, ONG, communauté et organisations riveraines
Mesure 3 : SFN15 – Enrochement et végétation pour protéger les piles et les culées des ponts	Affouillement local des piles et des culées dû à l'érosion par l'eau et les sédiments	MTPTC, mairie, CASEC, communauté et organisations riveraines

SFN	Impacts traités	Principaux acteurs
Mesure 4 : SFN13 – Stabilisation des pentes côtières à l’aide de matériaux hybrides	Protection des infrastructures contre l’érosion côtière par les vagues, les courants et le vent	MTPTC, MDE, MARNDR, communautés territoriales
Mesure 5 : SFN11 – Stabilisation des pentes côtières à l’aide de matériaux hybrides	Destruction ou obstruction de la route	MTPTC, MDE, mairie, CASEC, organisations de pêcheurs et de résidents
Mesure 6 : SFN3– Stabilisation des flancs de montagne à l’aide de matériaux hybrides	Perte de sol et d’habitat	Mairie, CASEC, organisations d’agriculteurs et de résidents locaux

Étape 4 : Protection des infrastructures contre l’érosion côtière par les vagues, les courants et le vent

4.1 Conception de solutions fondées sur la nature

Il est important que la conception de solutions fondées sur la nature tienne compte des caractéristiques spécifiques du site du projet et des écosystèmes environnants. Il faut donc notamment prendre en considération le lieu précis où la solu-

tion choisie doit être mise en œuvre pour garantir une efficacité maximale, les matériaux requis et les espèces d’arbres. Déterminez les principaux points à prendre en compte pour la conception des solutions sélectionnées à l’étape 3.1 :



- Quelles sont les informations biophysiques spécifiques (par exemple, pente, érosion du sol, état de la végétation, etc.) nécessaires à la conception des mesures identifiées ?
- Quels sont les matériaux requis ?
- De quelle expertise/analyse supplémentaire a-t-on besoin ?
- Quelles sont les espèces d’arbres appropriées ?

 **Tableau:** Exemple de réponses :

SFN	SFN6 – Conservation et restauration des mangroves	SFN11 –Stabilisation des pentes côtières à l’aide de matériaux hybrides
Informations biophysiques à prendre en compte	<ul style="list-style-type: none"> • Occupation côtière • Profondeur du littoral et force des marées • État de la végétation existante • Activités anthropogènes au niveau des côtes • Niveau de pollution des sorties d’évacuation des eaux de ruissellement 	<ul style="list-style-type: none"> • Pente des terres surplombant la côte et la route • Profondeur du littoral et force des marées • Végétation existante • Activités anthropogènes au niveau des côtes • Niveau d’érosion côtière • Niveau de sédimentation par les matériaux alluviaux provenant des pentes • Force et fréquence des ruissellements
Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Espèces de plantes adaptées aux écosystèmes locaux • Plantes indigènes ou aux caractéristiques endémiques favorables 	<ul style="list-style-type: none"> • Espèces de plantes adaptées aux écosystèmes locaux • Plantes indigènes ou aux caractéristiques endémiques favorables • Matériaux mécaniques (pierre, sable, gravier et autres)
Expertise	<ul style="list-style-type: none"> • Spécialiste en phytotechnie • Botaniste en plantes indigènes • Écologiste 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur civil Botaniste en plantes indigènes Urbaniste ou écologiste
Espèces d’arbres	<ul style="list-style-type: none"> • Mangroves adaptées 	<ul style="list-style-type: none"> • Voir la liste des plantes qui font l’objet de précédentes discussions (Annexes 4, 5 et 6).

4.2 Décrivez les principales activités nécessaires à la mise en œuvre de l'option choisie

Une fois que nous possédons les informations nécessaires à la conception de la solution fondée sur la nature sélectionnée à l'étape 3.1, il est important de dresser une liste des activités requises et des condi-

tions favorables à la mise en œuvre. Les conditions favorables font référence à la nécessité de vérifier l'existence de réglementations pertinentes pour la mise en œuvre des solutions et la propriété foncière :



- Quelles sont les principales activités nécessaires à la mise en œuvre des solutions fondées sur la nature choisies ?
- Quelles sont les conditions favorables (lois, réglementations, propriété foncière) pertinentes pour la mise en œuvre des solutions ?
- Quelles sont les principales activités qui seront nécessaires à l'entretien de la SFN ?

 **Tableau:** Exemple de réponses :

SFN	Principales activités	Conditions favorables (lois, réglementations)
SFN6 – Conservation et restauration des mangroves	A.1.1 - Étude des visites de terrain A.1.2 - Mobilisation des parties prenantes A.1.3 - Élaboration des plans de restauration et de gestion A.1.4 - Mise en œuvre et suivi	Cadre juridique national et procédures de la Banque mondiale pour l'évaluation environnementale et la gestion de l'habitat
SFN11 – Stabilisation des pentes côtières à l'aide de matériaux hybrides	A.1.1 - Mobilisation des parties prenantes (entrepreneur, ingénieur, autorités concernées, organisations communautaires, résidents locaux et travailleurs) A.1.2 - Élaboration et validation des outils de sauvegarde (prestataires de services internationaux, programmes de restauration, y compris le mécanisme de gestion des plaintes) A.1.3 - Mobilisation des matériaux biologiques et mécaniques A.1.4 - Exécution et supervision des travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Statut foncier de la zone d'intervention et des zones d'influence des travaux • Réglementations nationales et exigences de la Banque mondiale en matière d'expropriation et de réinstallation ; et • Lois haïtiennes sur la gestion des côtes • Autres

REFERENCES

- 1 Tecnica y Proyectos S.A. (TYPESA), Asesoramiento Ambiental Estrategico (AAE), AGRER (Groupe TYPESA)).
- 2 GFDRR, 2016, Haiti Country Profile, (<https://www.gfdr.org/en/publication/country-profile-haiti>)
- 3 Hale, L. Z., I. Meliane, S. Davidson, T. Sandwith, M. Beck, J. Hoekstra, M. Spalding, S. Murawski, K. Osgood, M. Hatziolos, P. van Eijk, W. Eichbaum, C. Dreus, D. Obura, J. Tamelander, D. Herr, C. McClennen, and P. Marshall. 2009. "Ecosystem-Based Adaptation in Marine and Coastal Ecosystems." *Renewable Resources Journal* 25 (4): 21–28.
- 4 Renaud, F. G., U. Nehren, K. Sudmeier-Rieux, and M. Estrella. 2016. Chapter 1: "Developments and Opportunities for Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation." In *Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice, Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol. 42, 1–20. DOI 10.1007/978-3-319-43633-3_1.
- 5 Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (Eds.). 2019. *Thinknature Nature-Based Solutions Handbook*. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme
- 6 World Bank 2012. – Climate Change Knowledge Portal (accessed on April 2021) <https://climate-knowledgeportal.worldbank.org/country/haiti/climate-data-historical>
- 7 EM-DAT, CRED / UCLouvain, Brussels, Belgium www.emdat.be (D. Guha-Sapir) (accessed April 2021)
- 8 Defra (Department for Environment, Food & Rural Affairs). 2010. "Adapting Energy, Transport, and Water Infrastructure to the Long-Term Impacts of Climate Change." Policy paper, Defra, Government of the United Kingdom. <https://www.gov.uk/government/publications/adapting-energy-transport-and-water-infrastructure-to-the-long-term-impacts-of-climate-change>.
- 9 GFDRR, 2011. *Vulnerability, Risk Reduction, and Adaptation to Climate Change: Haiti. Climate Risk and Adaptation Country Profile*
- 10 Asian Development Bank (ADB), 2011 *Guidelines for climate proofing investment in the transport sector: Road infrastructure projects*. Mandaluyong City, Philippines
- 11 CBD (Convention on Biological Diversity). 2004. *The Ecosystem Approach: CBD Guidelines*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- 12 Adapted from E. Cohen-Shacham, G. Walters, C. Janzen, S. Maginnis, 2016. *Nature-Based Solutions to Address Societal Challenges*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature
- 13 Vaughn, K. J., Porensky, L. M., Wilkerson, M. L., Balachowski, J., Peffer, E., Riginos, C. & Young, T. P. (2010) *Restoration Ecology*. *Nature Education Knowledge* 3(10):66
- 14 Mitsch, W.J. (2012). What is ecological engineering? *Ecological Engineering*, 45(October): 5–12
- 15 Maginnis, S., Laestadius, L., Verdone, M., DeWitt, S., Saint-Laurent, C., Rietbergen-McCracken, J. and Shaw, D.M.P. (2014). *Assessing forest landscape restoration opportunities at the national level: A guide to the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM)*, Gland, Switzerland: International Union for the Conservation of Nature.
- 16 Pedrr (2010). *Demonstrating the Role of Ecosystems-based Management for Disaster Risk Reduction*. Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction.
- 17 Lavorel, S., Colloff, M.J., McIntyre, S., Doherty, M.D., Murphy, H.T., Metcalfe, D.J., Dunlop, M., Williams, R.J., Wise, R.M. and Williams, K. (2015). *Ecological mechanisms underpinning climate ad-*

- aptation services. *Global Change Biology* 21(1): 12–31.
- 18 Benedict, M.A. and McMahon, E.T. (2006). *Green Infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington DC: Island Press
- 19 EC 2013
- 20 NOAA 2021 Ecosystem-based Management. (accessed on April 2021) [https://ecosystems.noaa.gov/EBM101/WhatisEcosystem-BasedManagement.aspx#:~:text=Ecosystem%2Dbased%20management%20\(EBM,or%20ecosystem%20services%20in%20isolation](https://ecosystems.noaa.gov/EBM101/WhatisEcosystem-BasedManagement.aspx#:~:text=Ecosystem%2Dbased%20management%20(EBM,or%20ecosystem%20services%20in%20isolation)
- 21 Kappel, C., Martone, R.G. & Duffy, J.E., 2006. Ecosystem-based management. *Encyclopedia of Earth*, pp.1–4. <http://www.eoearth.org/view/article/152249>
- 22 Garcia, S.M., Zerbi, A., Aliaume, C., Do Chi, T. and Lasserre, G. (2003). *The Ecosystem Approach to Fisheries: Issues, Terminology, Principles, Institutional Foundations, Implementation and Outlook*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 443, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- 23 UNEP, REGATTA, Spanish Cooperation, and Practical ACTION. 2019. “Demonstrating Evidence on Ecosystem-based Adaptation in Latin America and the Caribbean.” Climate Change Division and the Department of Coastal and Marine Management of the Uruguayan Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. <https://practicalaction.org.pe/demonstrating-evidence-on-ecosystem-based-adaptation-in-latin-america-and-the-caribbean/>.
- 24 E. Cohen-Shacham, G. Walters, C. Janzen, S. Maginnis, 2016. *Nature-Based Solutions to Address Societal Challenges*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature
- 25 World Bank. 2017. “Implementing Nature-Based Flood Protection: Principles and Implementation Guidance.” World Bank, Washington, DC
- 26 Webb [1]B., Dix B., Douglass S., Asam S., Cherry C., Buhning B., 2019. *Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: An Implementation Guide*. Federal Highway Administration Report No. FHWA-HEP-19-042. August, 2019
- 27 Webb B., Douglass S., Dix B., Asam S., 2018. *White Paper: Nature Based Solutions for Coastal Highway Resilience*. US Department of Transportation. Federal Highway Administration Report No. FHWA HEP 18 037, February 2018.
- 28 Reid H, Bourne A, Muller H, Podvin K, Scorgie S, Orindi V. 2018 A framework for assessing the effectiveness of ecosystem-based approaches to adaptation. In *Resilience* (eds Z Zommers, K Alverson), pp. 207–216. London, UK: Elsevier.
- 29 Reid H, Hou Jones X, Porras I, Hicks C, Wicander S, Seddon N, Kapos V, Rizvi A R, Roe D (2019) Is ecosystem-based adaptation effective? Perceptions and lessons learned from 13 project sites. IIED Research Report. IIED, London.
- 30 Narayan, S., Beck, M.W., Reguero, B.G., Losada, I.J., Van Wesenbeeck, B., Pontee, N., Sanchirico, J.N., Ingram, J.C., Lange, G.M. and Burks-Copes, K.A., 2016. The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS one*, 11(5), p.e0154735
- 31 Reguero, B. G., Storlazzi, C. D., Gibbs, A. E., Shope, J. B., Cole, A. D., Cumming, K. A., & Beck, M. W. (2021). The value of US coral reefs for flood risk reduction. *Nature Sustainability*, 1-11.
- 32 Barbier, E. B., Koch, E. W., Silliman, B. R., Hacker, S. D., Wolanski, E., Primavera, J., Granek, E. F., Polasky, S., Aswani, S., and Cramer, L. A. (2008). “Coastal ecosystem based management with nonlinear ecological functions and values.” *Science*, 319(5861), 321–323.
- 33 Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., and Silliman, B. R. (2011). “The value of estuarine and coastal ecosystem services.” *Ecological monographs*, 81(2), 169–193.
- 34 Barbier, E. B. (2015). “Valuing the storm protection service of estuarine and coastal ecosystems.” *Ecosystem Services*, 11, 32–38.
- 35 NOAA, 2015. *A Guide to Assessing Green Infrastructure Costs and Benefits for Flood Reduction*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Office for Coastal Management, April, 2015

- 36 Manis, J. E., Garvis, S. K., Jachec, S. M., & Walters, L. J. (2015). "Wave attenuation experiments over living shorelines over time: a wave tank study to assess recreational boating pressures." *Journal of Coastal Conservation*, 19(1), 1–11.
- 37 Guannel, G., Arkema, K., Ruggiero, P., & Verutes, G. (2016). "The power of three: Coral reefs, seagrasses and mangroves protect coastal regions and increase their resilience." *PLoS ONE*, 11(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158094>
- 38 Please note that Table 2 presents the costs as suggested by the authors at the time of their study; they have not been adjusted for inflation or discounted.
- 40 Bayraktarov, E., Saunders, M.I., Abdullah, S., Mills, M., Beher, J., Possingham, H.P., Mumby, P.J. and Lovelock, C.E., 2016. The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, 26(4), pp.1055-1074.
- 41 Oppenheimer, M., B. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A. K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, et al. 2019. "Chapter 4: Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities." Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner, H., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, et al., eds. Monaco: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter4.pdf.
- 42 Strassburg, B.B. and Latawiec, A.E., 2014, March. The economics of restoration: costs, benefits, scale and spatial aspects. In CDB Meeting-Linhares: International Institute for Sustainability.
- 43 Balmford, A. et al., 2004: The worldwide costs of marine protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101 (26), 9694-9697.
- 44 Sultan R and Sobhee S K (2016) Training Manual on Cost-Benefit Analysis for Coastal Management and Adaptation Options to Climate Change in Mauritius. Ministry of Environment, Sustainable Development, and Disaster and Beach Management, Government of Mauritius. University of Mauritius Press, Réduit, Mauritius.
- 45 Reguero BG, Beck MW, Bresch DN, Calil J, Meliane I (2018) Comparing the cost effectiveness of nature-based and coastal adaptation: A case study from the Gulf Coast of the United States. *PLoS ONE* 13(4): e0192132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192132>
- 46 Aerts, J.C., Barnard, P.L., Botzen, W., Grifman, P., Hart, J.F., De Moel, H., Mann, A.N., de Ruig, L.T. and Sadrpour, N., 2018a. Pathways to resilience: adapting to sea level rise in Los Angeles. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1427(1), pp.1-90.
- 47 Lewis, R. R., 2001: Mangrove restoration—Costs and benefits of successful ecological restoration. In: *Proceedings of the Mangrove Valuation Workshop*, Universiti Sains Malaysia, Penang, Penang, Malaysia, Beijer International Institute of Ecological Economics, 4-8.
- 48 Aerts, J., 2018: A review of cost estimates for flood adaptation. *Water*, 10 (11), 1646.
- 49 Hakim, L.L., 2016. Cost and Benefit Analysis for Coastal Management. A Case Study of Improving Aquaculture and Mangrove Restoration Management in Tambakbulusan Village Demak Indonesia.
- 50 Vuik, V., B. W. Borsje, P. W. Willemsen and S. N. Jonkman, 2019: Salt marshes for flood risk reduction: Quantifying long-term effectiveness and life-cycle costs. *Ocean & coastal management*, 171, 96-110.
- 51 Appelquist L.R. & Halsnæs K., 2015. The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate. *Journal of Coastal Conservation* 19:157–179 DOI 10.1007/s11852-015-0379-7
- 52 Jonkman, S.N., Hillen, M.M., Nicholls, R.J., Kanning, W. and van Ledden, M., 2013. Costs of adapting coastal defences to sea-level rise—new estimates and their implications. *Journal of Coastal Research*, 29(5), pp.1212-1226.
- 53 Somphong C., Udo K., Ritphring S. and Shirakawa H., 2020. Beach Nourishment as an Adaptation to Future Sandy Beach Loss Owing to Sea-Level Rise in Thailand. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, 8, 659; doi:10.3390/jmse8090659

- 54 Environment Agency, 2015: Cost estimation for coastal protection – summary of evidence. Environment Agency, Bristol, UK.
- 55 Verburg, R.W., Hennen, W.H.G.J., Puister, L.F., Michels, R. and van Duijvendijk, K., 2017. Estimating costs of nature management in the European Union: Exploration modelling for PBL's Nature Outlook (No. 97). Wageningen University & Research, Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment.
- 56 Ayres, A., Gerdes, H., Goeller, B., Lago, M., Catalinas, M., García Cantón, Á., Brouwer, R., Sheremet, O., Vermaat, J., Angelopoulos, N. and Cowx, I., 2014. Inventory of river restoration measures: effects, costs and benefits. Restoring rivers FOR effective catchment management (REFORM), Deliverable.
- 57 Dige, G., Eichler, L., Vermeulen, J., Ferreira, A., Rademaekers, K., Adriaenssens, V. and Kolaszewska, D., 2017. Green Infrastructure and Flood Management: Promoting Cost-Efficient Flood Risk Reduction via Green Infrastructure Solutions. European Environment Agency (EEA) Report, (14). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2cdad1c8-e6d5-11e7-9749-01aa75ed71a1/language-en>
- 58 Kuhlman, T., Reinhard, S. and Gaaff, A., 2010. Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, 27(1), pp.22-32.
- 59 European Commission. (2020c, April). Nature-Based Solutions for Flood Mitigation and Coastal Resilience (No. 978-92-76-18198-9). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/374113>
- 60 Streever, W.J., 1997. Trends in Australian wetland rehabilitation. *Wetlands Ecology and Management*, 5(1), pp.5-18.
- 61 Linham, M., C. Green and R. Nicholls, 2010: AVOID Report on the Costs of adaptation to the effects of climate change in the world's large port cities. AV/WS2.
- 62 R. J., D. Lincke, J. Hinkel and T. van der Pol, 2019: Global Investment Costs for Coastal Defence Through the 21st Century. World Bank, Group, W. B. G. S. D. P. [Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/433981550240622188/pdf/WPS8745.pdf>].
- 63 Tamura, M., N. Kumano, M. Yotsukuri and H. Yokoki, 2019: Global assessment of the effectiveness of adaptation in coastal areas based on RCP/SSP scenarios. *Climatic Change*, 1-15.
- 64 Kappes, Melanie Simone; Pozueta Mayo, Beatriz; Charles, Keren Carla; Cayetano, Marion; Rogelis Prada, Maria Carolina. 2017. Prioritizing climate resilient transport investments in a data-scarce environment : a practitioners' guide (English). Washington, D.C. : World Bank Group.
- 65 m.a.s.l.: meters above sea level
- 66 Government of Jamaica, 2017. National Coastal Management and Beach Restoration Guidelines for Jamaica
- 67 Payment for Ecosystem Services are a type of conservation approach that entails the use of economic mechanisms and incentives. Under a PES scheme, those people whose lands provide environmental services may accept voluntary limitation or diversification of their activities in return for an economic benefit that is provided by the beneficiaries of the services. In this way, both “sellers” and “buyers” of ecosystem services can profit while helping to protect ecosystems. <https://www.iucn.org/theme/environmental-law/our-work/other-areas/payments-ecosystem-services#:~:text=Under%20a%20PES%20scheme%2C%20those,the%20beneficiaries%20of%20the%20services.>
- 68 The BCA project is implemented by the Technical Implementation Unit (UTE) of the Ministry of Economy and Finance (MEF) and the Central Implementation Unit of the Ministry of Public Works, Transport and Communications (UCE), with technical support from the Technical Secretariat of the Interministerial Committee for Land Management

(ST-CIATT) and the Ministry of Agriculture, Natural Resources and Rural Development (MARNDR). This project is financed by the World Bank, the International Development Association (IDA) and the Climate Investment Fund (CIF).

- 69 Technical Note: “Public Consultations and Stakeholder Engagement in WB-supported operations where there are constraints on the conduct of public meetings”. World Bank, 20 March 2020. This note refers to the World Health Organization’s guidelines, which are publicly available at this link: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance>
- 70 PPE: Personal Protective Equipment
- 71 PAP: Project Affected Persons
- 72 Options for Ecosystem-based Adaptation in Coastal Environments.
- 73 See Chapter 2 (Coastal Defense Services Provided by Mangroves). World Bank. *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs*. Edited by M.W. Beck and G-M. Lange. Washington, D.C.: Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership, World Bank, 2016.
- 74 Spalding, M., M. Kainuma, and L. Collins. *World Atlas of Mangroves*. London, UK: Washington, DC: Earthscan, 2010.
- 75 See Chapter 3 (Coastal Defense Services Provided by Coral Reefs). World Bank. *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs*. Edited by M.W. Beck and G-M. Lange. Washington, D.C.: Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership, WB, 2016.
- 76 NRC (Naturally Resilient Communities). 2017. *Solutions: Coral Reefs*. http://nrcsolutions.org/wp-content/uploads/2017/03/NRC_Solutions_Coral_Reefs.pdf
- 77 Sultan R and Sobhee S K (2016) *Training Manual on Cost-Benefit Analysis for Coastal Management and Adaptation Options to Climate Change in Mauritius*. Ministry of Environment, Sustainable Development, and Disaster and Beach Management, Government of Mauritius. University of Mauritius Press, Réduit, Mauritius.
- 78 UNEP (United Nations Environment Programme). 2016a. *Options for Ecosystem-Based Adaptation in Coastal Environments: A Guide for Environmental Managers and Planners*. Nairobi: UNEP.
- 79 *Naturally Resilient Communities*: nrcsolutions.org. Last visit: 29 January 2020.
- 80 Source: Wayfarer environmental.
- 81 Verburg, R.W., Hennen, W.H.G.J., Puister, L.F., Michels, R. and van Duijvendijk, K., 2017. Estimating costs of nature management in the European Union: Exploration modelling for PBL’s Nature Outlook (No. 97). Wageningen University & Research, Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment.
- 82 Koch, E. W., J. D. Ackerman, J. Verduin, and M. Keulen. “Fluid Dynamics in Seagrass Ecology— from Molecules to Ecosystems.” In *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, 193–225. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- 83 *Natural Capital & Roads: Managing dependencies and impacts on ecosystem services for sustainable road investments*. Lisa Mandle, Rob Griffin, Josh Goldstein, Rafael Acevedo-Daunas, Ashley Camhi, Michele Lemay, Elizabeth Rauer, Victoria Peterson. p. cm. — (IDB Monograph; 476)
- 84 Government of Jamaica, ACP-EU Natural Disaster Risk Reduction Program (2017). *National Coastal Management and Beach Restoration Guidelines for Jamaica*.
- 85 CTCN, *Managed Realignment*: <https://www.ctc-n.org/technologies/managed-realignment>
- 86 Coastal highways includes roads, bridges, and other infrastructure that make up transportation systems exposed to, or occasionally exposed to, tides, storm surge, waves, and sea level rise
- 87 Green-Gray Community of Practice. (2020). *Practical Guide to Implementing Green-Gray*

- Infrastructure. https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/ci-green-gray-practical-guide-v07.pdf?sfvrsn=3cc5cf18_.
- 88 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Annex II - Glossary. John Agard, and E. Lisa F. Schipper. Geneva, Switzerland, 151 pp. Koch, E. W., J. D. Ackerman, J. Verduin, M. Keulen, A. W. D Larkum, R. J. Orth, and C. M. Duarte. 2006. "Fluid Dynamics in Seagrass Ecology—From Molecules to Ecosystems." In *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, edited by C. M. Duarte, R. J. Orth, and A. W. D. Larkum, 193–225. Dordrecht: Springer Netherlands.
- 89 CBD. 2009. Ecosystem-based Adaptation (EbA). Position Paper. International Union for Conservation of Nature (IUCN).
- 90 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. IPCC Workshop on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems – Workshop Report. Working Group II.
- 91 <https://sfyl.ifas.ufl.edu/media/sfylifasufledu/miami-dade/documents/landscapes-amp-gardening/Woody-and-Herbaceous-Plants-Native-to-Haiti.pdf>
- 92 RAP: Resettlement action Plan
- NRC. N.d. "Using Nature To Address Flooding." Accessed January 29, 2020. <http://nrcsolutions.org>.
- National Research Council 2008. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation: Special Report 290. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12179>.
- SMi-IDB. 2013. "Appui au Plan de Gestion Environnementale et Sociale du Projet Routier Cayes/Jérémie, Haïti. Diagnostic et actualisation de l'Étude d'Impact sur l'Environnement." [[Please provide publication details or URL]]
- Society for Ecological Restoration (2004). Ecological Restoration Primer [online document] www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration
- World Bank. 2016a. "Chapter 2: Coastal Defense Services Provided by Mangroves." In *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs*, edited by M. W. Beck and G-M. Lange. Washington, DC: Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership, World Bank.
- World Bank. 2016b. "Chapter 3: Coastal Defense Services Provided by Coral Reefs." In *Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs*, edited by M. W. Beck and G-M. Lange. Washington, DC: Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services Partnership, World Bank.
- World Bank. 2020. "Technical Note: Public Consultations and Stakeholder Engagement in WB-Supported Operations Where There Are Constraints on the Conduct of Public Meetings." World Bank, Washington, DC, March 20, 2020.
- Rodríguez Zubiato, E. "Casing Design with Casing." National University of Engineering, Faculty of Civil Engineering, Institute for the Mitigation of the Effects of the El Niño Phenomenon, May 2003, p. 39.

Ressources additionnelles

- European Commission (2013). Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, Belgium.
- GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021. Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2019 and 2000-2019. David Eckstein, Vera Künzel, Laura Schäfer
- Millennium ecosystem assessment, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being (Vol. 5)*. Washington, DC: Island Press.

Schueller, K. 2017. "Nature-Based Solutions to Enhance Coastal Resilience." Policy brief, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Pendle, M. 2013. "Estuarine and Coastal Managed Realignment Sites in the UK: A Comparison of Predictions with Monitoring Results for Selected Case Studies." Conference paper presented at the 2nd ABPmer Conference on Managed Realignment, November.

Hily, C., J. Duchêne, C. Bouchon, Y. Bouchon-Navaro, A. Gigou, C. Payri, and F. Védie. 2010. Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. France: Initiative FRançaise pour les RÉcifs CORalliens (IFRECOR), Conservatoire du littoral.

GIZ. 2019. Emerging Lessons for Mainstreaming Ecosystem-Based Adaptation: Strategic Entry Points and Processes. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

