

# Gestion de la Rareté de l'Eau en Milieu Urbain au Maroc

Rapport

NOVEMBRE 2017



**GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE**



WATER  
PARTNERSHIP  
PROGRAM

## **Avertissement**

© 2017 Banque internationale pour la reconstruction et le développement/Banque mondiale

1818 H Street NW, Washington, DC 20433

Téléphone : 202-473-1000 ; Site web : [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)

Le présent document a été produit par le personnel de la Banque mondiale avec des concours externes. Les constats, interprétations et conclusions qui y sont exprimés ne reflètent pas nécessairement les opinions de la Banque mondiale, du Conseil des Administrateurs de la Banque mondiale ou des pays que ceux-ci représentent.

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

## **Droits et licences**

Le contenu de cette publication fait l'objet d'un dépôt légal. La Banque mondiale encourageant la diffusion des connaissances, la reproduction de cette publication est autorisée, en tout ou en partie, à des fins non commerciales, sous réserve d'indication de la référence.

Le présent ouvrage doit être cité de la manière suivante : Dahan Stephane. 2017. Gestion de la Rareté de l'Eau en Milieu Urbain au Maroc. Banque mondiale, Washington, DC.

Toute question relative aux droits et licences, y compris les droits subsidiaires, est à adresser au Bureau des publications de la Banque mondiale : The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, États-Unis d'Amérique ; télécopie : 202-522-2625 ; courriel : [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org).

Maquette de couverture : Jean Franz, Franz & Company, Inc.

## Table des Matières

Remerciements.....	6
Résumé Exécutif .....	7
1. Introduction .....	8
2. Qu'est-ce que la gestion intégrée de l'eau urbaine dans un contexte de pénurie d'eau? .....	9
3. Pourquoi la gestion intégrée de l'eau urbaine est-elle pertinente pour le Maroc ? .....	10
4. Comment le Maroc peut-il tirer au mieux parti de la gestion intégrée de l'eau urbaine ? .....	13
4.1. Une base solide: le cadre juridique et institutionnel pour la GIRE au niveau national .....	13
4.2. Les économies d'eau potentielles grâce à la conservation de l'eau et la gestion de la demande .....	15
4.3. Options pour l'augmentation des approvisionnements grâce à des solutions non conventionnelles.....	16
4.4. Infrastructure conventionnelle : augmentation de l'approvisionnement en eau à travers les réservoirs et le transfert d'eau .....	18
5. En quoi cela est-il pertinent pour la ville de Marrakech?.....	19
5.1. Un déficit structurel d'eau qui va augmenter .....	19
5.2. Concevoir un approvisionnement en eau résilient et diversifié pour la région de Marrakech ..	23
5.2.1. Options de gestion de la demande et de conservation de l'eau.....	24
5.2.2. Options non conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau .....	26
5.2.3. Options conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau .....	28
5.3. Comparaison des options d'approvisionnement en eau pour Marrakech .....	31
5.4. Comparaison multicritères des options d'approvisionnement en eau pour Marrakech .....	32

## Annexes

ANNEXE II Cadre juridique, institutionnel et politique du secteur de l'eau au Maroc

ANNEXE III La pénurie d'eau au Maroc et les impacts du changement climatique

ANNEXE IV Projections démographiques et de la demande en eau pour la population urbaine du Maroc

ANNEXE V Mesures alternatives de réduction de l'offre et de la demande visant à assurer la sécurité de l'eau en milieu urbain	
ANNEXE VI Évaluation des impacts de la réallocation de l'eau de l'irrigation à l'eau potable	
ANNEXE VII Ressources en eau au niveau du bassin : situation actuelle et projections	
ANNEXE VIII Sources actuelles d'approvisionnement en eau de la ville de Marrakech	
ANNEXE IX Demande en eau du Grand Marrakech	
ANNEXE X Système de demande et d'approvisionnement en eau pour la ville de Marrakech	
ANNEXE XI Solutions techniques pour la réalisation de la future sécurité de l'eau à Marrakech	
ANNEXE XII Analyse financière et multicritères des options techniques	
ANNEXE XIII Références	

## Liste des illustrations

Figure 1 – Projections démographiques .....	10
Figure 2 - Principaux centres de population urbaine .....	11
Figure 3 - Projections de la demande en eau entre 2014-2050 (litres par habitant et par jour) - source: ONEE.....	11
Figure 4 - Changements climatiques projetés pour le Bassin d'Oum Er Rbia (2050) .....	12
Figure 5 - Demande en eau, efficacité et mesures de gestion de l'offre proposées dans la SNE (2009)....	14
Figure 6 - Pertes physiques moyennes dans les zones urbaines de la région MENA (IBNet, Author) .....	15
Figure 7 - Consommation d'eau domestique (bleu foncé) et totale (bleu clair) au Maroc en 2014 (en litres par personne et par jour).....	16
Figure 8 – Variabilité spatiale des précipitations (source : ONEE-IEA, 2014).....	18
Figure 9: Zone urbaine de la région du Grand Marrakech desservie par RADEEMA.....	19
Figure 10 - Système d'approvisionnement en gros du Grand Marrakech - situation actuelle .....	20
Figure 11 - Projection du volume du système d'approvisionnement en eau potable et de la demande pour Marrakech (2030) .....	21
Figure 12 - Système d'approvisionnement en eau en gros du Grand Marrakech - 2030.....	21
Figure 13 - Évolution des flux des réservoirs de Lalla Takerkoust et Hassan 1 <sup>er</sup> .....	22
Figure 14 - Xéropaysagisme – golf de Marrakech .....	25
Figure 15 - Illustration de l'option avec dessalement d'eau de mer et transfert virtuel .....	26
Figure 16 – Location of possible aquifer recharge sites .....	28
Figure 17 – Emplacement du nouveau barrage Ait Ziat (option SW4; figure de gauche) et le barrage Sidi Driss existant (SW5) .....	29
Figure 18 - Coûts des mesures et des volumes annuels d'eau générés pour différentes options d'ici 2050 .....	31

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Scénarios de réduction de la disponibilité de l'eau d'ici 2050 - effets combinés sur le changement et la variabilité climatiques.....	23
---	----

Tableau 2 - Synthèse des impacts estimés des scénarios combinés de changement climatique et de variabilité climatique sur le bilan hydrique de la région de Marrakech (à l'horizon 2050) .....	23
Tableau 3 - Résumé de l'analyse économique des options pour l'approvisionnement en eau de Marrakech .....	32

## Abréviations et acronymes

ABH	Agences de Bassins Hydrauliques - Agences de Bassin
ABHOER	Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er Rbia - Agence du Bassin d'Oum Er Rbia
ABHT	Agence du Bassin Hydraulique du Tensift - Agence du Bassin du Tensift
CC	Changement climatique
ELL	Niveau économique des fuites ( <i>Economic Level of Leakages</i> )
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIEU	Gestion intégrée de l'eau urbaine
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau
GIZ	Agence allemande de développement ( <i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH</i> )
MAD	Dirham marocain
lpcd	Litre par habitant par jour (litres per capita per day)
MENA	Région Moyen-Orient et Afrique du Nord
Mm <sup>3</sup>	Million de mètres cubes
OCP	Office Chérifien des Phosphate
ONEE	Office National de l'Électricité et de l'Eau
PDAIRE	Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau
PNAL	Plan National d'Assainissement Liquide
PNE	Plan National de l'Eau
PNEEI	Plan National d'Economie d'Eau en Irrigation
PNREU	Plan national de réutilisation
PPP	Partenariat Public-Privé
RADEEMA	Régie Autonome de Distribution d'Eau et de l'Électricité de Marrakech
RCP	Trajectoires représentatives de concentration ( <i>Representative Concentration Pathways</i> )
SNE	Stratégie Nationale de l'Eau
STEP	Station d'Épuration

## Remerciements

Ce rapport a été préparé par une équipe de spécialistes du secteur de l'eau menée par Stéphane Dahan (GWAGP) et comprenant Johan Grijsen (consultant international), Khalid Anouar (consultant international), Mohammed Bekhechi (consultant international), Mohamed Jalil (consultant local), le cabinet de conseil EBP, Richard Abdounour (GWA05), Amal Talbi (GWA05) et Thembi Kumapley (consultant international).

La revue du rapport a été réalisée par Carmen Yee-Batista (GWA01) et Habab Taifour (GWA08). Ce travail a également bénéficié des nombreux conseils et du soutien au sein de la Banque mondiale, notamment de Steven Schonberger (GWA05), Daniel Camos Daurella (GWA05), Claudien Kader (GWA05) et Khadija Sebbata (MNA01).

La collaboration avec de nombreux partenaires et acteurs du secteurs de l'eau a été essentielle tout au long de la préparation de cette étude. L'équipe tient tout particulièrement à remercier le Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, le Ministère de l'Intérieur, les Agences de Bassin du Tensift et de l'Oum Er Rbia, l'ONEE, la RADEEMA, l'ORMVAH, ainsi que tous les participants à l'atelier de discussion tenu à Casablanca le 22 mai 2017.

L'équipe tient enfin à remercier le Programme de partenariat pour l'eau (WPP) pour sa contribution à la réalisation de ce travail.

## Résumé Exécutif

*La sécurité de l'eau urbaine au Maroc est menacée par des défis importants tels que la croissance de la population, l'urbanisation, l'expansion économique et le changement climatique.* Alors que la demande en eau urbaine devrait augmenter de 60% à 100% dans la plupart des grandes villes d'ici 2050, les projections climatiques prévoient une réduction des précipitations et une forte baisse de la disponibilité des ressources en eau. Le Maroc devrait entrer dans une situation de stress hydrique extrême en moins de 25 ans.

La Loi sur l'eau 36-15 reconnaît ces risques et définit les politiques, institutions, réglementations, mécanismes et procédures pertinents pour une gestion intégrée des ressources en eau, ainsi que les outils nécessaires à sa mise en œuvre. La loi souligne la nécessité d'une gestion intégrée, décentralisée et participative de l'eau, et reconnaît l'importance de développer des mécanismes de planification pour faire face aux pénuries d'eau. Des institutions ont été créées à tous les niveaux du gouvernement et des mécanismes sont en place pour impliquer la société civile et le secteur privé dans la gestion de l'eau.

Même si la Loi sur l'eau 36-15 accorde la priorité à l'approvisionnement en eau potable par rapport à d'autres usages, notamment l'irrigation, la sécurité de l'eau urbaine ne peut être considérée de manière isolée et doit être prise en compte dans un cadre plus général de gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant où la zone urbaine est située. Avec le stress hydrique croissant et les pénuries d'eau majeures susceptibles de frapper le secteur agricole dans le futur, la concurrence pour l'eau deviendra de plus en plus intense entre les utilisateurs. La gestion intégrée de l'eau en milieu urbain doit aller de pair avec la gestion intégrée de l'eau et des bassins, et les gestionnaires des eaux urbaines doivent contribuer équitablement à économiser et réutiliser l'eau urbaine au profit d'autres secteurs dépendants de l'eau.

Marrakech et, par extension, d'autres villes et municipalités du Maroc disposent d'un ensemble d'options diverses pour relever les défis de la sécurité de l'eau en milieu urbain. De nombreuses solutions non conventionnelles associées à des mesures de gestion de la demande s'avèrent prometteuses et rentables, avec moins d'impacts sociaux et environnementaux que les grands projets d'infrastructure reposant sur des barrages et des transferts interbassins.

D'autres améliorations des cadres institutionnels et réglementaires pourraient être envisagées pour accélérer l'adoption de solutions telles que la réutilisation des eaux usées, la récupération des eaux pluviales et la réduction des fuites ; ces mesures ont été identifiées comme étant essentielles pour combler le déficit d'approvisionnement en eau dans la *Stratégie Nationale de l'Eau* (2009). Le renforcement de la gouvernance des eaux souterraines sera également fondamental pour mieux réguler les utilisations compétitives de l'eau entre les acteurs municipaux et non municipaux, et pour tirer parti du potentiel des aquifères permettant d'amortir les effets de la variabilité climatique.

Pour la ville de Marrakech, cette étude pointe vers un portefeuille de solutions visant à renforcer la résilience de la ville aux chocs climatiques, et à diversifier les sources d'eau pour se prémunir contre les risques pouvant les toucher. Ce portefeuille diffère de celui envisagé dans le *Plan National de l'Eau* (2015), qui repose principalement sur le transfert interbassin du Nord. La faisabilité technique, financière et institutionnelle des scénarios prometteurs doit être évaluée plus en détail que ce qui a pu être fait dans le cadre de cette étude. Mais à ce moment charnière de l'engagement de projets d'infrastructures à grande échelle au Maroc, un examen complet des options intégrant les échelles micro (ville), méso (bassin) et macro (interbassin) pourrait aider à définir une trajectoire optimale vers l'avant et produire des bénéfices substantiels.

## 1. Introduction

En 2015, 60% de la population marocaine résidait dans les zones urbaines, un chiffre qui devrait passer à 74% d'ici 2050. Du fait de l'urbanisation rapide, de la croissance démographique et des développements économiques qui y sont liés, la concurrence pour les ressources en eau dans tous les secteurs du Maroc qui en sont dépendants augmente régulièrement, et de nombreuses sources d'eaux souterraines traditionnelles montrent des signes d'épuisement. En même temps, les sources d'eau sont de plus en plus exposées à la pollution due à des changements de modes d'utilisation des sols, à une mauvaise gestion des déchets solides et des eaux pluviales, au traitement inadéquat des eaux usées, aux infrastructures vieillissantes et à l'expansion urbaine formelle et informelle. Le changement climatique ajoute plus d'incertitude et de vulnérabilité à ces défis, qui mettent le pays sur la voie d'une crise majeure de l'eau. À moins de parvenir à un équilibre entre les demandes croissantes et les ressources limitées et souvent variables, les villes marocaines sont donc confrontées à un avenir d'insécurité hydrique.

Bien que l'allocation de l'eau donne de facto la priorité à l'approvisionnement en eau potable, se concentrer exclusivement sur l'approvisionnement des services d'eau urbaine peut avoir des conséquences dangereuses pour les villes. Les zones urbaines se développent rapidement, au détriment du secteur agricole et dans certains cas, elles utilisent déjà une partie de l'eau allouée à l'irrigation afin de satisfaire la demande en eau urbaine. Cela peut sembler gérable sur le long terme car les volumes requis pour couvrir la demande en eau urbaine sont relativement marginaux par rapport à ceux fournis pour l'irrigation. Mais avec le stress hydrique croissant et les conséquences sociales et économiques liées au secteur rural, la concurrence entre les utilisateurs d'eau s'intensifiera probablement ; exploiter les allocations d'eau agricoles pour couvrir le déficit hydrique urbain ne peut pas être considéré comme une solution durable.

La gestion de l'eau en milieu urbain doit donc englober des questions plus larges de gestion des ressources en eau. La sécurisation et la durabilité des ressources en eau pour les villes en expansion dans un contexte d'incertitude et de variabilité hydrologiques croissantes peuvent être réalisées grâce à la mobilisation de nouvelles ressources en eau, l'amélioration de l'efficacité du système et des efforts de conservation de l'eau. S'attaquer à la rareté de l'eau en milieu urbain nécessite alors de relever des défis importants à de nombreux niveaux, y compris aux niveaux politique, institutionnel, financier, social et technique.

Le gouvernement du Maroc agit déjà face au déficit croissant entre l'offre et la demande en eau dans ses zones urbaines et pour l'agriculture irriguée, notamment à travers la mise en œuvre de grands projets d'infrastructures hydrauliques, de transferts interbassins et d'usines de dessalement des villes côtières. De plus, à travers divers programmes nationaux, le pays travaille à améliorer l'accès à l'eau, la collecte et le traitement des eaux usées domestiques et industrielles et la gestion intégrée des ressources en eau, mis en œuvre par neuf agences de bassin.

L'objectif global de ce rapport est donc de fournir des principes directeurs pour la gestion du cycle de l'eau urbaine au Maroc de manière holistique et durable, tout en reconnaissant dûment les questions plus larges liées aux ressources en eau. Le document rappelle tout d'abord les concepts et principes clés de la gestion intégrée de l'eau urbaine (GIEU) dans le contexte de la pénurie d'eau en milieu urbain (section 1) .Il examine ensuite la pertinence dans le cas du Maroc (section 2) en passant en revue les défis actuels liés à l'eau dans les grandes zones urbaines, et analyse la façon par laquelle le pays peut tirer le meilleur parti de cette approche (section 3).Enfin, une étude en profondeur axée sur la ville de Marrakech est proposée pour illustrer sa pertinence et identifier des options concrètes pour renforcer la résilience de la ville à la pénurie d'eau de la manière la plus rentable possible.



## 2. Qu'est-ce que la gestion intégrée de l'eau urbaine dans un contexte de pénurie d'eau?

Étant donné que de nombreux secteurs dépendent de ressources en eau limitées provenant d'un bassin hydrographique, les dynamiques concurrentielles de la demande en eau exigent un changement de paradigme vers une approche intégrée de la gestion de l'eau urbaine. En réponse à ces défis, la gestion intégrée de l'eau urbaine (GIEU, ou IUWM en anglais pour *Integrated Urban Water Management*) vise à améliorer la gestion des ressources à travers le cycle urbain de l'eau, tout en prenant en compte tous les utilisateurs de l'eau du bassin. La Banque mondiale (2012 [fn1](#)) définit la GIEU comme "un processus flexible, participatif et itératif, intégrant les éléments du cycle urbain de l'eau (approvisionnement en eau, assainissement, gestion des eaux pluviales et gestion des déchets solides) au développement urbain et à la gestion des bassins versants et visant à maximiser les avantages économiques, sociaux et environnementaux de manière équitable". La GIEU propose une approche holistique de la planification stratégique en gérant la concurrence entre usagers de l'eau au niveau du bassin versant, en reconnaissant les besoins de la ville ainsi que ceux des utilisateurs d'eau en amont et en aval. Cette approche encourage la récupération des nutriments, et la production d'eau et d'énergie à partir des déchets, y compris des eaux usées, pour leur réutilisation dans la ville ou dans ses alentours.

La GIEU reconnaît la valeur de sources alternatives d'eau

La GIEU fait la distinction entre les qualités et les usages potentiels des sources d'eau (usage des sources d'eau adapté au besoin)

La GIEU considère le stockage de l'eau, sa distribution, son traitement, sa réutilisation et son évacuation comme faisant partie d'un seul cycle de gestion

La GIEU cherche à protéger, conserver et utiliser les eaux de surface et les eaux souterraines à la source

La GIEU prend en compte les utilisateurs non-urbains qui dépendent de la même source d'eau dans le bassin

La GIEU harmonise les institutions formelles (organisations, législation et politiques) et les pratiques informelles (les normes et conventions) qui gouvernent l'eau dans les villes et pour les villes.

La GIEU reconnaît les relations entre les ressources en eau, l'occupation des sols et l'énergie

La GIEU cherche à maximiser la rentabilité économique, l'équité sociale et la durabilité environnementale

La GIEU encourage la participation de toutes les parties prenantes

Source: Bahri, 2012: *Integrated Urban Water Management*. Stockholm: Global Water Partnership

### Encadré 1: Principes clés de la gestion intégrée de l'eau urbaine (GIEU)

**La gestion intégrée de l'eau urbaine vise à optimiser la gestion des ressources urbaines et liées à l'eau, comme décrit dans l'encadré 1.** Son principe général est la gestion durable des ressources en eau dans le contexte de la GIRE au niveau des bassins hydrographiques, comme le reconnaît la nouvelle loi sur l'eau du Maroc 36-15 (encadré 1). La GIRE est une approche intersectorielle conçue pour promouvoir le développement coordonné et la gestion de l'eau, des terres et des ressources connexes afin de maximiser le bien-être économique et social de manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux et de l'environnement.

**Dans un contexte de pénurie d'eau en milieu urbain, un éventail de mesures standard de GIEU visant à améliorer la résilience des systèmes d'eau urbains et à assurer la sécurité de l'eau en milieu urbain**

**comprend** entre autres : i) l'*augmentation de l'approvisionnement en sources d'eau conventionnelles* telles que les réservoirs d'eau de surface, les aquifères et les transferts entre bassins, ii) la *diversification en augmentant l'approvisionnement en sources d'eau non conventionnelles* telles que la collecte des eaux de pluie, la réutilisation des eaux usées traitées et des ruissellements et le dessalement d'eau de mer, iii) la *conservation en réduisant les besoins en eau du milieu urbain* à travers la gestion de la demande et la réduction des pertes, et iv) une *augmentation des allocations d'eau* en coopérant avec les autres utilisateurs. En règle générale, les interventions basées sur une approche GIEU fonctionnent mieux dans un contexte institutionnel (Banque mondiale, 2016): i) dont l'administration est intégrée de manière verticale ; ii) dont le secteur est intégré de manière horizontale ; iii) qui est soutenu par un travail analytique, des données et des informations durables; et iv) étayé par une gouvernance solide, des mandats et des capacités institutionnels clairs dans le secteur de l'eau.

**Les changements économiques, sociaux et environnementaux, identifiés par Daniell et al (2015) comme étant de potentiels moteurs d'une transition vers la GIEU, sont largement répandus au Maroc.** Ils comprennent: i) une forte augmentation de la population urbaine, une urbanisation croissante et une demande de plus en plus importante pour les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement et de traitement des eaux usées, dans un contexte d'incertitude climatique croissante; ii) la rareté croissante de la ressource; iii) un environnement propice à l'innovation technologique; iv) de nouvelles approches et de nouveaux systèmes de gouvernance de l'eau; v) un changement de la culture de l'eau et une demande plus importante d'approches respectueuses de l'environnement; et vi) la dégradation des écosystèmes et la prise de conscience croissante de la nécessité de protéger les écosystèmes fluviaux en milieu urbain.

### 3. Pourquoi la gestion intégrée de l'eau urbaine est-elle pertinente pour le Maroc ?

**La croissance de la population, l'urbanisation rapide, les changements dans la structure des ménages et la prospérité économique entraînent une augmentation de la demande en eau urbaine.** Selon la Banque mondiale et UNDESA la population urbaine du Maroc se situait en 2015 à 20,7 millions de personnes et devrait passer à 32,3 millions de personnes (+ 56% de croissance) d'ici 2050, comme le montre la figure 1. La population rurale stagne et devrait même diminuer légèrement au cours des prochaines décennies. Les deux tiers de la population urbaine vivent dans les 20 plus grandes villes du pays, identifiées dans la figure 2. La croissance démographique la plus importante est attendue pour Tanger, El Jadida et Berrechid, dont on projette que la population va doubler entre 2014 et 2050.

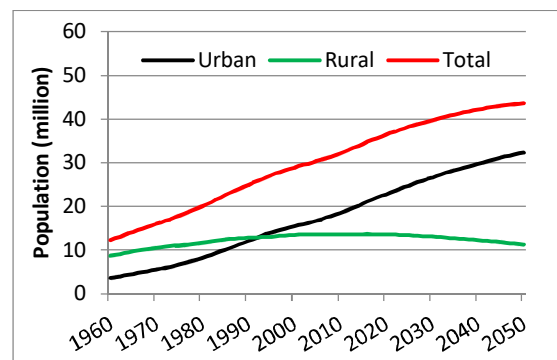


Figure 1 – Projections démographiques

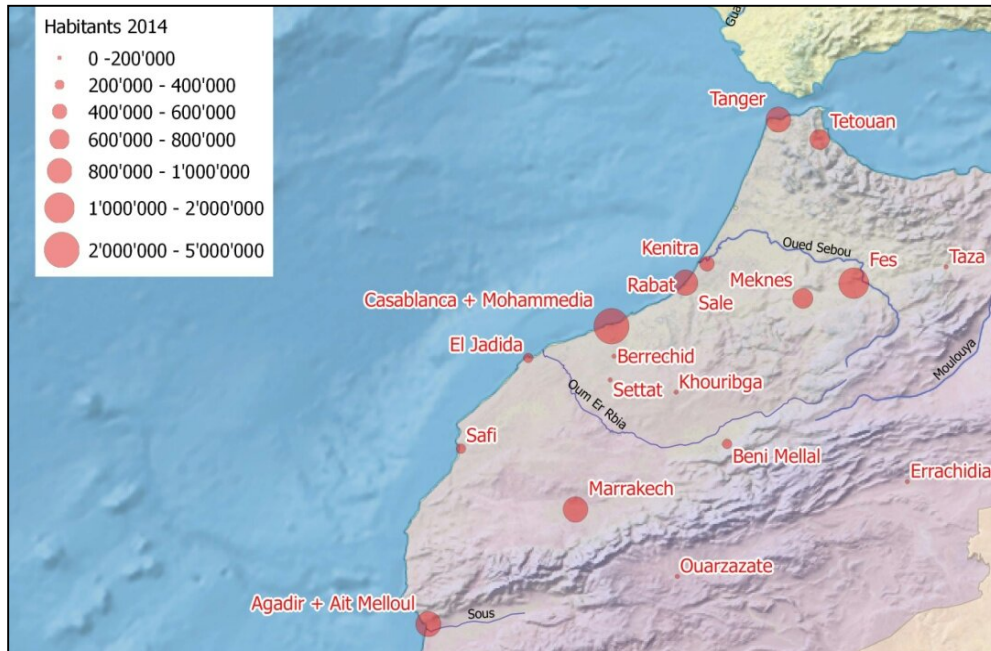


Figure 2 - Principaux centres de population urbaine

**La demande en eau urbaine pourrait augmenter en raison de rapides changements socio-économiques.** À Marrakech par exemple, le nombre moyen de personnes par ménage était de 4,3 en 2014, contre 5,4 en 1994. La diminution rapide de la taille des ménages peut exercer une pression à la hausse sur la demande en eau urbaine, en rapport avec l'augmentation globale du pouvoir d'achat et les changements de mode de vie de la population urbaine moderne. Les projections de la demande montrent une croissance rapide de la demande en eau urbaine : le Plan National de l'Eau (PNE, 2015) a évalué les besoins du Maroc en eau domestique et industrielle à 1 437 Mm<sup>3</sup> / an en 2010 contre 2 368 Mm<sup>3</sup> / an en 2030, ce qui représente une augmentation de 65%. Certaines villes, comme Tanger et Tétouan, pourraient même doubler leur demande d'eau urbaine, comme le montre la figure 3.

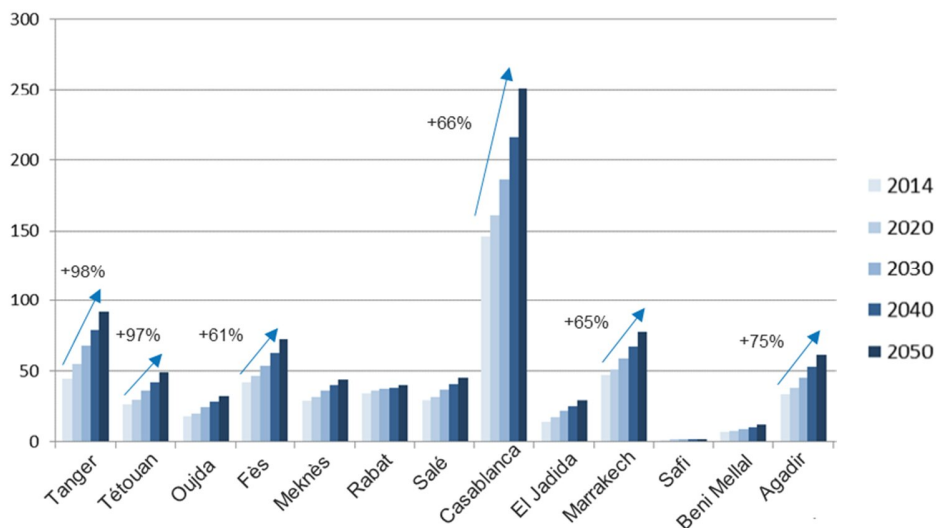


Figure 3 - Projections de la demande en eau entre 2014-2050 (litres par habitant et par jour) - source: ONEE

**Le Maroc devrait faire face à une pénurie d'eau extrême d'ici 2050.** Quatre-vingt pour cent du territoire marocain est classifié comme aride à semi-aride. En raison de la forte croissance démographique au XX<sup>e</sup> siècle, du développement économique, d'une forte baisse des précipitations depuis 1980 (de -15% à -20%) et d'une diminution proportionnelle du ruissellement (de -30% à -40%), la disponibilité des ressources en eau est déjà soumise à de fortes pressions. La disponibilité de l'eau au Maroc est passée de 3 500 m<sup>3</sup> par personne en 1960, à 730 m<sup>3</sup> par personne en 2005 et 645 m<sup>3</sup> par personne en 2015, bien en dessous du « seuil de pauvreté de l'eau » de 1 000 m<sup>3</sup> par personne et par an. Même sans modification supplémentaire de la disponibilité des ressources en eau, une population projetée de près de 44 millions d'habitants d'ici 2050 donnerait lieu à un ratio de 510 m<sup>3</sup> par personne d'ici 2050, ce qui est proche du « seuil de rareté extrême de l'eau » de 500 m<sup>3</sup> par habitant.

**Considérant les impacts graves et négatifs des changements climatiques futurs, le pays pourrait être poussé au cours des prochaines décennies bien au-dessous du « seuil de rareté extrême de l'eau ».** Depuis un brusque changement de précipitations qui a commencé au début des années 80, la disponibilité annuelle des eaux de surface a nettement diminuée ; par exemple, dans le bassin de la rivière Oum Er Rbia, les eaux de surface ont diminué de -30% à -40%, ce qui a été aggravé par une variabilité interannuelle accrue des eaux de ruissellement. La plupart des projections des modèles de circulation générale (MCG) prévoient un avenir plus sec et plus chaud pour la région, comme le montre la figure 4. Les MCG prévoient une réduction supplémentaire moyenne de 20% de la pluviométrie, avec les changements les plus extrêmes compris entre -40% et zéro. Cela entraînerait une réduction importante de la disponibilité de l'eau de surface (pouvant aller jusqu'à au moins -50%) et de la recharge des eaux souterraines, d'une ampleur similaire aux réductions du ruissellement et de la recharge qui ont déjà eu lieu depuis 1980.

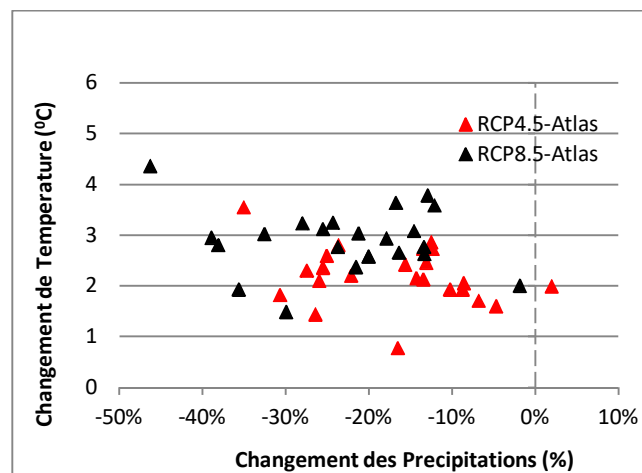


Figure 4 - Changements climatiques projetés pour le Bassin d'Oum Er Rbia (2050)

**Le déclin constant des ressources en eau disponibles est aggravé par une dégradation de la qualité de l'eau** due à un traitement inadéquat des eaux usées, à une pollution agricole diffuse et à la perte de volumes réglementé de réservoirs dû à la sédimentation. Pendant ce temps, les eaux souterraines sont prélevées bien au-delà du niveau d'abstraction durable. Dans cette perspective, le World Resources Institute (Luo et al, 2015) a classé le Maroc comme pays soumis à un fort stress hydrique en 2010 et un stress hydrique extrême d'ici 2040, sur la base d'une analyse de l'offre et de la demande d'eau future fondée sur une combinaison de trajectoires représentatives de concentration (*Representative Concentration Pathways (RCP)*) et de trajectoires socio-économiques partagées provenant du 5<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC. Dans ce contexte de rareté de l'eau, l'écart entre l'offre et la demande augmentera chaque année.

**La demande en eau urbaine sera confrontée à une concurrence croissante avec le secteur de l'irrigation.**

En dépit de son potentiel hydrique limité, le Maroc a fait de l'agriculture un secteur clé de son développement économique et social, et les demandes en eau des agriculteurs resteront élevées dans un avenir proche. Confronté à une population rurale nombreuse, dont la principale source d'emploi et de revenu est l'agriculture, et en vue d'assurer un niveau minimum de sécurité alimentaire au pays, le gouvernement a concentré ses efforts sur le développement de l'agriculture irriguée, en faisant de plus en plus appel à l'application de l'irrigation goutte-à-goutte. Actuellement, plus d'un million d'hectares ont été aménagés pour l'agriculture irriguée, utilisant plus de 80% des rares ressources en eau du pays. Si l'introduction de l'irrigation au goutte-à-goutte vise à économiser l'eau, elle s'accompagne souvent d'une intensification agricole, ce qui donne plus de rendement pour le même apport d'eau, plutôt que d'importantes économies d'eau. La loi sur l'eau 36-15 accordant la plus haute priorité à l'approvisionnement en eau domestique et industrielle, les demandes croissantes d'approvisionnement urbain en eau et la diminution des ressources en eau entraîneront des pénuries d'eau croissantes pour l'agriculture irriguée. La capacité des agriculteurs à faire face aux pénuries d'eau croissantes, et les impacts de ces pénuries sur les rendements agricoles et les économies rurales seront critiques. Selon les enquêtes de terrain menées dans le bassin de Tensift (comprenant la ville de Marrakech), la valorisation de l'eau d'irrigation varie en termes de production agricole entre 0,5 MAD par m<sup>3</sup> pour la luzerne à 17 MAD par m<sup>3</sup> pour les pêches et prunes - en comparaison à un tarif actuel de 4,5 MAD par m<sup>3</sup> à Marrakech pour l'eau urbaine. D'autres impacts importants incluent une diminution de la rente foncière, une diminution de l'emploi rural et des effets multiplicateurs sur d'autres secteurs de l'économie rurale. Même si les impacts sur la disponibilité de l'eau sont limités au secteur rural, le manque d'action peut entraîner des coûts économiques importants pour la région et renforcer les inégalités entre zones urbaines et rurales.

**Dans ce contexte de stress hydrique accru et de concurrence avec d'autres secteurs, la résilience du secteur de l'eau dans les villes dépendra (i) de la séparation d'une partie de ses ressources en eau de la demande des autres usagers, (ii) de la promotion des pratiques de conservation de l'eau, et de la réduction de la demande en eau urbaine. Une approche intégrée de la gestion de l'eau urbaine est bien placée pour aider le Maroc à atteindre ces deux objectifs.**

## 4. Comment le Maroc peut-il tirer au mieux parti de la gestion intégrée de l'eau urbaine ?

### 4.1. Une base solide: le cadre juridique et institutionnel pour la GIRE au niveau national

**Le Maroc s'est engagé dans une approche de gestion intégrée des ressources en eau dans le cadre de sa Stratégie nationale de l'eau (SNE), du Plan national de l'eau (PNE) et de la nouvelle loi sur l'eau 36-15 (2016).** La SNE (2009) aborde la gestion de la demande et la valorisation de l'eau, le développement et la gestion de l'approvisionnement en eau, la réduction des risques et l'adaptation au changement climatique, la protection des ressources en eau et des écosystèmes, les réformes institutionnelles, le renforcement des capacités et les systèmes d'information. Il soutient que le statut quo engendrerait au niveau national un déficit de 5 milliards de m<sup>3</sup>/an d'ici 2030. Pour combler l'écart toujours croissant entre l'offre et la demande, la SNE propose de multiples mesures décrites dans la figure 5, afin d'augmenter les approvisionnements de 2,5 milliards de m<sup>3</sup>/an et de réduire les demandes en parallèle de 2,5 milliards de m<sup>3</sup>/an. Il s'agit à la fois de mesures d'infrastructures classiques telles que les réservoirs et les transferts interbassins visant à augmenter l'approvisionnement, et de mesures non-conventionnelles de

réutilisation des eaux usées traitées, de dessalement, de gestion de la demande et du rendement des systèmes, et de collecte des eaux pluviales.

**Les services d'eau urbains doivent réaliser des contributions substantielles pour combler l'écart entre la demande et l'approvisionnement en eau.** Cela inclut une série de mesures telles que la gestion de la demande, l'amélioration de l'efficacité des réseaux de distribution d'eau et la création de « nouvelle eau » (NouvEau). Ces solutions et opportunités, et d'autres plus conventionnelles sont décrites plus loin dans ce chapitre. Une approche GIEU peut contribuer au partage équitable des ressources en eau disponibles entre les différents utilisateurs et secteurs pour aider le secteur de l'eau potable à contribuer de manière importante à pallier les effets des sécheresses dans d'autres secteurs (notamment le secteur agricole), comme prévu dans la SNE (2009).

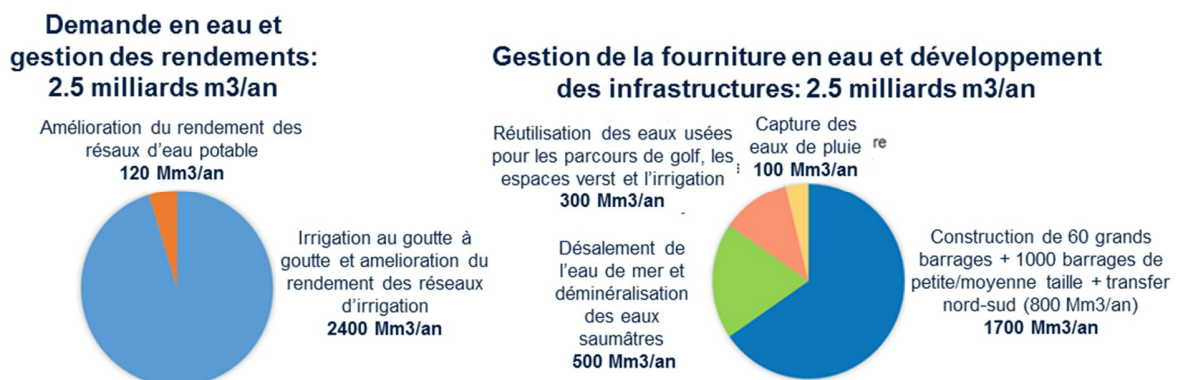


Figure 5 - Demande en eau, efficacité et mesures de gestion de l'offre proposées dans la SNE (2009)

**La Loi sur l'eau 36-15 met en place des politiques, des institutions, des réglementations, des mécanismes et des procédures pertinents pour la gestion intégrée des ressources en eau,** ainsi que les outils nécessaires à sa mise en œuvre et à la lutte efficace contre les risques liés à la rareté de l'eau en milieu urbain. La loi met l'accent sur la nécessité d'une gestion intégrée de l'eau, décentralisée, et participative, et reconnaît l'importance de développer des mécanismes de planification pour faire face à la rareté de l'eau. Des institutions ont été créées à tous les niveaux de gouvernement et des règles sont en place pour impliquer la société civile et le secteur privé dans la gestion de l'eau.

**Plusieurs améliorations pourraient être envisagées dans la conception et l'application du cadre juridique et institutionnel, afin d'améliorer l'efficacité et la résilience du secteur de l'eau.** Compte tenu de l'inévitable crise de l'eau qui se profile dans le pays, il serait fortement recommandé d'augmenter l'horizon de planification utilisé pour la gestion des ressources en eau jusqu'en 2050 au lieu de l'horizon actuel de 2030, et d'incorporer des scénarios de changement climatique dans ces analyses. En outre, une conformité plus stricte avec les allocations d'eau améliorera leur prévisibilité parmi tous les utilisateurs, établira des conséquences claires concernant le gaspillage d'eau et favorisera des améliorations dans l'efficacité du secteur parmi tous les utilisateurs. Cela serait facilité par l'établissement et l'application de *contrats d'aquifère*, établissant des règles claires et des mécanismes de surveillance pour le prélèvement des eaux souterraines au niveau du bassin. Enfin, dans le contexte du processus de régionalisation au Maroc, qui vise à décentraliser les responsabilités pour le développement social et économique, il sera essentiel d'impliquer plus formellement les Régions dans les décisions sur l'allocation et la gestion de l'eau.



## 4.2. Les économies d'eau potentielles grâce à la conservation de l'eau et la gestion de la demande

**Une grande partie de l'infrastructure d'eau potable au Maroc est en service depuis des décennies et peut être une source importante de fuites d'eau.** Les pertes d'eau physique dans les réseaux urbains varient entre 17% à Salé et 45% à Fès, et représentent 27% en moyenne au Maroc. En moyenne, les pays de la région MENA ont entre 20% et 60% de pertes comme le montre la figure 6. Le Niveau Economique de Fuites (ELL en anglais, soit '*Economic Level of Leakage*') représente le seuil au-dessous duquel le coût marginal de la réduction des fuites dépasse les bénéfices économiques associés. Cette valeur dépend fortement du contexte. Cependant, sur la base des niveaux atteints dans de nombreux pays (16% aux États-Unis en 2008, 14% à Windhoek et des taux de pertes à un chiffre dans plusieurs villes d'Europe occidentale, américaine et australienne et à Singapour), il semble probable que les services d'eau au Maroc aient encore matière à amélioration. Le PNE (2015) vise un niveau d'eau non-revenu de 20% d'ici 2030 à l'échelle nationale.

Cependant, une question-clé à résoudre est qu'au Maroc les services d'eau ne prennent pas en charge les coûts de la production et du transport de l'eau, et peuvent donc avoir une perception déformée du Niveau Economique de Fuites. Si le maintien de l'équité des tarifs de l'eau en gros dans tout le pays reste une priorité nationale, la détermination d'objectifs de rendement et de pertes d'eau adaptés à chaque cas et tenant compte du coût total de l'eau peut être une approche privilégiée pour favoriser de nouveaux gains d'efficacité. Une stratégie proactive de prévention et de prévention devrait inclure *entre autres* un programme amélioré de détection des fuites, une unité de réponse rapide aux fuites, une gestion variable de la pression pour contrôler les pertes excessives, la réhabilitation et le remplacement des conduites d'eau.

**La gestion de la demande en eau résidentielle est limitée en raison des taux de consommation relativement faibles** qui varient entre 80 et 120 litres par habitant et par jour (d'après les données de 2014). Ces niveaux de consommation correspondent à ceux des villes pauvres en eau des autres pays à revenu intermédiaire, notamment l'Égypte, la Jordanie, la Tunisie, la Turquie, l'Inde (le Nord-Ouest) et le Brésil (la région Nordeste). Les possibilités d'économies d'eau des usagers non résidentiels sont plus importantes, par exemple pour les hôtels, les espaces verts dans les villes et les terrains de golf, mais cela ne concerne qu'une proportion limitée (environ 20%) de la consommation totale d'eau. Un programme national en cours vise à promouvoir la conservation de l'eau dans les secteurs du tourisme et de l'industrie.

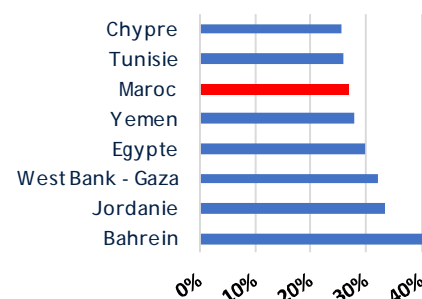


Figure 6 - Pertes physiques moyennes dans les zones urbaines de la région MENA (IBNet, Author)

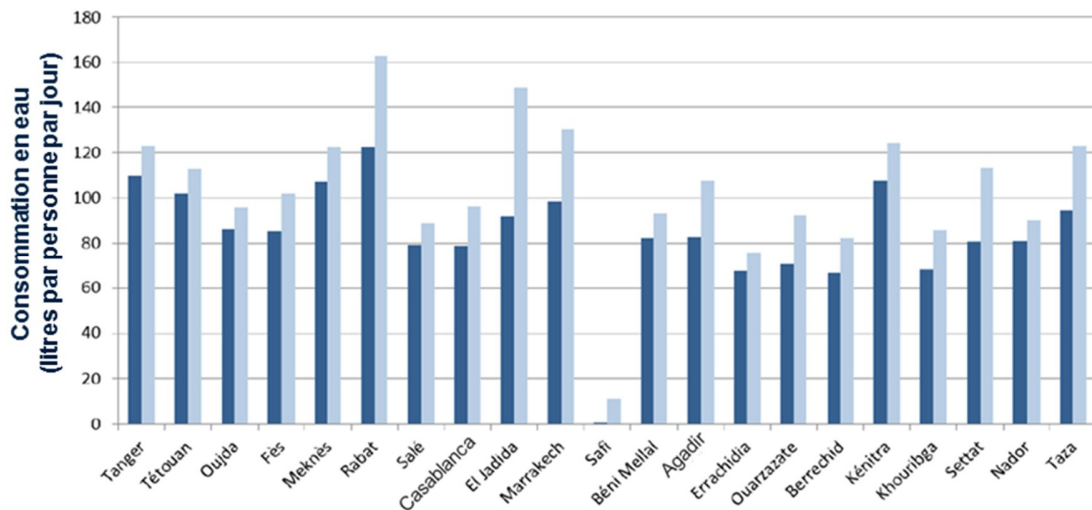


Figure 7 - Consommation d'eau domestique (bleu foncé) et totale (bleu clair) au Maroc en 2014 (en litres par personne et par jour)

#### 4.3. Options pour l'augmentation des approvisionnements grâce à des solutions non conventionnelles

**Les eaux usées traitées constituent une source d'eau potentielle importante pour combler l'écart entre la demande et les ressources en eau.** Au Maroc, la capacité actuelle de réutilisation de 38 millions de m<sup>3</sup>/an est limitée à quelques villes, notamment Marrakech (7 millions de m<sup>3</sup>/an) et Salé, et à l'industrie des phosphates. La SNE (2009) et le Plan national de réutilisation (PNREU, 2015) visent à accroître la réutilisation des eaux usées traitées par 2030 à 325 millions de m<sup>3</sup>/an, pour un investissement total d'environ 8 milliards de dirhams. Le PNREU a identifié 28 projets de réutilisation pour développement prioritaire, y compris la réhabilitation et l'amélioration des stations d'épuration existantes pour y inclure la réutilisation. La plus grande partie de l'infrastructure de réutilisation planifiée servirait les besoins agricoles (45%) et l'irrigation des espaces verts et des terrains de golf (43%), avec une petite partie destinée à la recharge des aquifères (6%).

**Si la réutilisation des eaux usées est reconnue dans la nouvelle loi sur l'eau 36-15 comme une ressource viable et une nécessité pour satisfaire les besoins en eau du pays, des efforts en vue de la création de politiques et de règlements d'appui seraient essentiels pour l'intensifier.** La lente progression de la réutilisation des eaux usées traitées peut être attribuée à plusieurs défis majeurs. Cela inclut la difficulté de développer la réutilisation pour l'agriculture (son marché principal), dans les zones où l'utilisation de l'eau souterraine, qui est très probablement une option moins chère, n'est pas strictement réglementée. En outre, la mise en place d'arrangements de réutilisation représente un processus administratif très complexe et très long et des dispositions institutionnelles et réglementaires adéquates seraient nécessaires pour rationaliser les procédures. Cette situation est parfois aggravée par l'absence d'un partage clair des coûts entre les services publics (les producteurs) et les utilisateurs (les agriculteurs). Surtout, le faible niveau de traitement secondaire apparaît comme le principal défi pour développer la réutilisation. Depuis le lancement du Plan National d'Assainissement Liquide (PNAL) en 2006, le pourcentage d'eaux usées traitées est passé de 7% en 2005 à 41% en 2015, mais seulement 20% de ce volume est traité au niveau secondaire. À l'heure actuelle, 12% de la capacité actuelle de traitement



tertiaire du Maroc est utilisée pour la réutilisation. Sur la base d'un taux de restitution des eaux usées domestiques nette de 80 litres par habitant par jour, les eaux usées urbaines augmenterait d'environ 600 millions de m<sup>3</sup> / an en 2015 à environ 750 millions de m<sup>3</sup> / an en 2030 (couvrant 5% de la demande nationale en cas de sécheresse) et 900 millions de m<sup>3</sup>/an d'ici 2050.

**Le dessalement devient rapidement une technologie de traitement de l'eau de choix dans la région MENA du fait de la baisse des coûts technologiques, sa résilience en cas de sécheresse et une production d'eau de qualité supérieure entre autres.** Les services d'eau du monde entier ont effectivement adopté le dessalement de l'eau de mer comme une alternative prometteuse à l'amenuisement des réserves d'eau. En 2016, la capacité mondiale totale de dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre s'élevait à environ 22 milliards de m<sup>3</sup>/an. Le Maroc a également adopté le dessalement comme une option prometteuse, et a l'intention de produire plus de 500 millions de m<sup>3</sup> d'eau potable par an d'ici 2030. Le pays a commencé à construire des usines de dessalement à petite échelle en 1995 et avait réalisé 15 installations (pour la plupart relativement petites) en 2016, avec une capacité de dessalement de 132 millions de m<sup>3</sup> / an. Des projets à plus grande échelle sont en cours de planification, comme à Casablanca et à Agadir. Alors que le dessalement est encore relativement coûteux et énergivore, la baisse des coûts de l'énergie solaire et éolienne déplace les postes de contrôle en sa faveur. Le marché du dessalement MENA est arrivé à maturité et a permis de réaliser certains des projets (grands ou plus petits) les moins coûteux au monde, avec un coût compris entre 0,6 et 1 \$ US / m<sup>3</sup>. Au fur et à mesure que les technologies émergentes évolueront vers des systèmes de dessalement à grande échelle fiables au cours des 10 à 15 prochaines années, le dessalement devrait connaître un bond en avant prodigieux vers plus de durabilité et de rentabilité. La Loi sur l'eau 36-15 reconnaît le dessalement comme une ressource viable et prévoit des concessions en tant qu'option pour la participation du secteur privé. Cependant, des mécanismes clairs pour le partage des coûts à l'échelle régionale ou nationale, et la coordination intersectorielle (eau-énergie) doivent encore être établis. Le succès du développement des projets de dessalement reposera sur de grands investissements privés et nécessitera l'acquisition efficace de systèmes de PPP que le secteur de l'eau au Maroc n'a pas encore réussi à réaliser.

**La collecte des eaux pluviales et des eaux d'orages fournit un approvisionnement en eau indépendant pendant les restrictions d'eau régionales et sont souvent utilisées pour compléter l'approvisionnement principal.** La collecte des eaux de pluie et des eaux d'orages sont des traditions anciennes au Maroc. La SNE (2009) envisage de faire revivre ces pratiques anciennes avec des projets pilotes pour capturer 5 à 15 millions de m<sup>3</sup> / an dans les bassins fluviaux ayant des pénuries d'eau sévères, comme l'Oum Er Rbia, Tensift et les bassins du Souss. La collecte des eaux de pluie améliore la résilience des ménages face aux sécheresses à court-terme, dont les villes peuvent également tirer bénéfice en réduisant les volumes d'eaux pluviales dans les égouts. Pour favoriser un développement à grande échelle de ces approches au Maroc, l'identification de leur habitat institutionnel serait critique car elles se situent actuellement à l'intersection des fonctions des gouvernements locaux, des agences de bassin en charge de la gestion des ressources en eau et des prestataires de services. Cela affaiblit la responsabilité et l'appropriation de ces pratiques. Il serait donc utile de clarifier la définition des responsabilités institutionnelles pour leur gestion, leur suivi et leur utilisation, et de mettre en place un cadre réglementaire incitant leur mise en œuvre à grande échelle. Avec une expérience encore fragmentée dans ce domaine, le Maroc devra capitaliser sur les pilotes existants, opérationnaliser activement et diffuser ce savoir-faire - un effort actuellement soutenu par la GIZ (agence allemande de développement).

**La recharge artificielle des eaux souterraines offre une option alternative à la construction de grands réservoirs pour le stockage des eaux de surface.** Contrairement à la construction d'une grande capacité de réservoir au cours des cinquante dernières années, il n'y a pas eu d'augmentation significative de l'utilisation contrôlée des aquifères pour le stockage des eaux souterraines. Les eaux souterraines

constituent une ressource stratégique précieuse pour le développement, en particulier dans les régions arides ou semi-arides, mais la surexploitation des eaux souterraines au niveau national avoisine en moyenne un milliard de m<sup>3</sup> par an. Il est donc impératif de mettre en œuvre des stratégies de gestion intégrant la recharge naturelle et artificielle pour la préservation des eaux souterraines. La recharge artificielle est nécessaire pour restaurer les aquifères surexploités et est potentiellement une alternative viable au stockage dans les réservoirs (coût raisonnable, pas de perte par évaporation, possibilité d'utiliser des eaux usées traitées et aucun problème d'eutrophisation). La SNE a prévu plusieurs actions pour la conservation et la reconstitution des aquifères, y compris un programme de recharge artificielle des eaux souterraines (stockage de 180 millions de m<sup>3</sup> / an) et de réinjection des eaux usées après traitement dans les nappes phréatiques côtières utilisées pour l'irrigation (100 millions de m<sup>3</sup>/an d'ici 2030).

#### 4.4. Infrastructure conventionnelle : augmentation de l'approvisionnement en eau à travers les réservoirs et le transfert d'eau

**Les barrages sont construits pour répondre aux besoins humains, mais l'histoire montre que leurs nombreux avantages sont souvent associés à des coûts environnementaux et sociaux considérables.** Par le passé, la « politique des grands barrages » a permis au secteur de l'eau de soutenir le développement de grands périmètres irrigués. Cette politique a augmenté le nombre de grands barrages, qui est passé de 16 au début des années 1960 à 139 à l'heure actuelle, pour atteindre une capacité de stockage totale d'environ 18,5 milliards de m<sup>3</sup> en 2014. Même si la plupart des ressources en eau du pays ont déjà été développées, la SNE (2009) prévoit encore d'investir 21 milliards de MAD de plus sur la période 2015 - 2030 dans de nouveaux barrages et réservoirs de petite et moyenne taille, afin de mobiliser 1,7 milliard de m<sup>3</sup> supplémentaires, soit 10% de la capacité de stockage existante.

**Une autre option d'infrastructure conventionnelle prometteuse est le transfert des eaux de surface excédentaires du Nord-Ouest vers le centre du pays, où les déficits sont normaux.** En raison de la répartition spatiale inégale des précipitations, comme le montre la figure 8, il y a un surplus d'eau de surface d'environ 850 millions de m<sup>3</sup> / an dans les bassins de Loukkos et de Sebou et quelques petits bassins dans la partie nord-ouest du pays. Par contre, les grands projets d'agriculture urbaine et irriguée excédant leurs ressources en eau renouvelables dans les bassins du centre d'Oum-Er-Rbia, de Souss-Massa-Draa, de Tensift et de Moulouya conduisent à des pénuries structurelles d'eau aillant jusqu'à 1 750 Mm<sup>3</sup> par an. En effet, au niveau national, 50% de l'eau disponible provient des bassins de Sebou et de Loukkos, tandis que les autres bassins représentent 92% des besoins en eau du pays. Pour tirer parti de ce déséquilibre hydrique, le PNE (2015) a prévu un transfert d'eau interbassin des bassins de Loukkos et de Sebou au nord vers les bassins centraux du Maroc, à travers un système de canaux allant aussi loin au sud que le barrage d'Al Massira dans le Bassin d'Oum-Er-Rbia, avec un nouveau projet de développement d'irrigation en cours de route. De plus amples détails sur ce plan sont fournis à la section 4.4. Le projet permettrait la mise en commun de capacités de stockage dans les

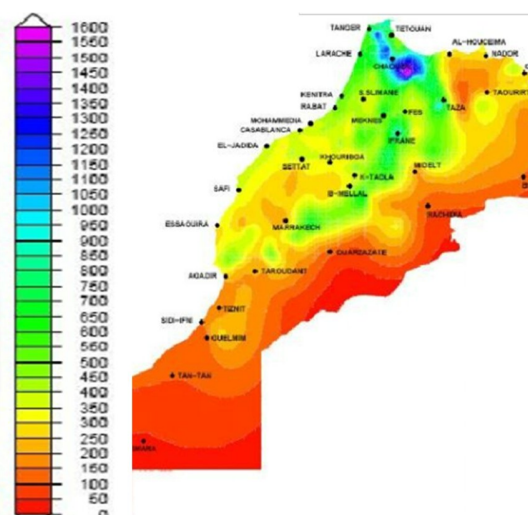


Figure 8 – Variabilité spatiale des précipitations (source : ONEE-IEA, 2014)

bassins de Laou, Loukkos, Sebou et Oum Er Rbia, en particulier dans le réservoir d'Al Massira avec une importante capacité de stockage excédentaire, afin de mobiliser des ressources hydriques supplémentaires qui sont actuellement perdues en mer. Les coûts d'investissement du projet sont estimés à 31 milliards de MAD et le coût unitaire de l'eau atteignant le réservoir d'Al Massira est estimé à 7,4 MAD / m<sup>3</sup>.

## 5. En quoi cela est-il pertinent pour la ville de Marrakech?

### 5.1. Un déficit structurel d'eau qui va augmenter

**La zone urbaine du Grand Marrakech abrite plus d'un million d'habitants.** Elle est située sur la rivière Tensift au centre du bassin. Depuis 2002, les ressources en eau du bassin de Tensift sont gérées par l'Agence du bassin de la rivière Tensift (ABHT). Dans la région du Grand Marrakech, la société autonome de distribution d'eau et d'électricité RADEEMA (Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech) dessert environ un million d'habitants dans ses cinq districts (Marrakech-Médina, Menara, Gueliz, Sidi Youssef Ben Ali et Annakhil), la municipalité de Mechouar-Kasba, une partie des communes rurales d'Al Ouidane, de Ouahat Sidi Brahim, de Saâda et de Tassoultante ainsi qu'une partie de la commune de Tamesloht, où d'importants projets touristiques sont mis en œuvre. L'eau brute est fournie par l'Office national de l'électricité et de l'eau (ONEE). L'économie de la région est basée sur l'agriculture et l'élevage, le tourisme, l'artisanat, l'industrie et l'exploitation minière. La ville de Marrakech est particulièrement dépendante des secteurs du tourisme et de l'industrie, caractérisés par une forte consommation d'eau. La ville et ses nombreux terrains de golf attirent chaque année quelque deux millions de visiteurs.

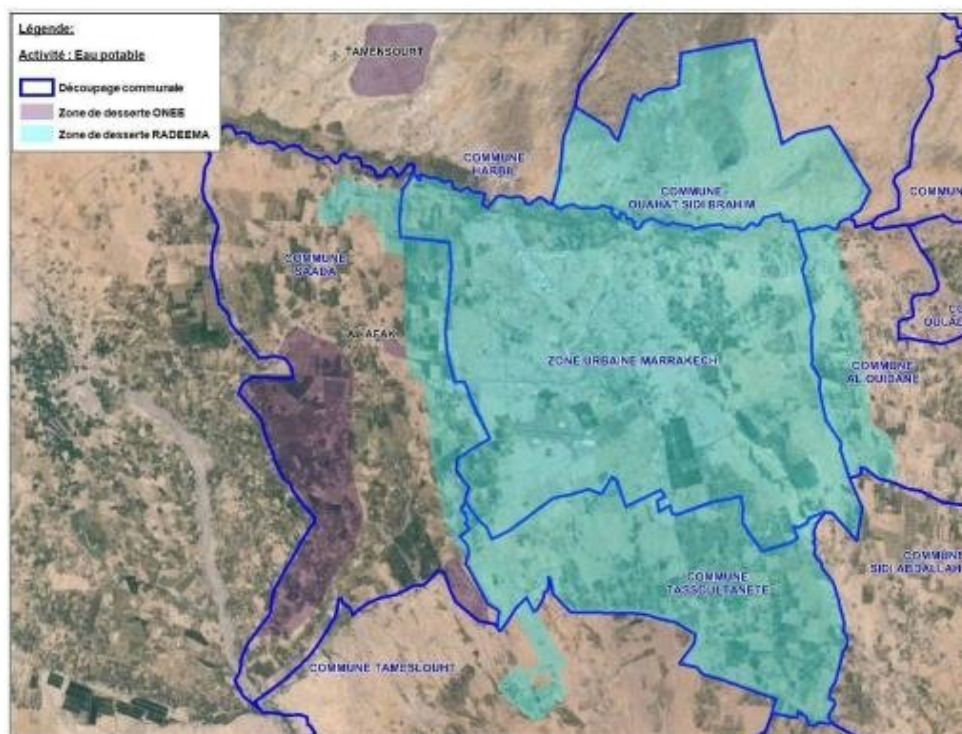


Figure 9: Zone urbaine de la région du Grand Marrakech desservie par RADEEMA

**Actuellement, la demande en eau de Marrakech dépasse légèrement ses allocations.** La demande en eau dans la zone de service de RADEEMA représente 66 millions de m<sup>3</sup> par an (2015) pour l'eau potable et un volume supplémentaire de 6 millions de m<sup>3</sup> par an pour couvrir l'irrigation des terrains de golf et des espaces verts publics. Ceci est à comparer à une demande en eau pour l'irrigation d'environ 1650 millions de m<sup>3</sup> par an (2010). Actuellement, la plus grande partie de cette demande est fournie par le canal de Rocade depuis le réservoir Hassan 1<sup>er</sup> dans le bassin d'Oum Er Rbia et le complexe Lalla Takerkoust au sud de Marrakech, comme illustré dans la figure 9. De ces sources d'eau, 57 millions de m<sup>3</sup> par an ont été canalisés à la ville par l'ABHT. L'aquifère Haouz, déjà surexploité, apporte une contribution mineure, et la plupart des besoins d'irrigation des terrains de golf et des espaces verts publics sont couverts par la réutilisation de l'eau. Pour couvrir le déficit d'approvisionnement de 9 millions de m<sup>3</sup>, Marrakech utilise les allocations d'eau du secteur de l'irrigation.



Figure 10 - Système d'approvisionnement en gros du Grand Marrakech - situation actuelle



**Les infrastructures de transfert prévues contribueront à combler temporairement l'écart d'équilibre hydrique au niveau du Grand Marrakech.** Dans un scénario de croissance moyenne, la population

desservie par RADEEMA devrait atteindre 1,4 million d'ici 2050 et la demande en eau devrait atteindre 93 millions de m<sup>3</sup> par an. En parallèle, l'envasement du complexe de Lalla Takerkoust entraînera inexorablement une réduction des allocations provenant de cette source, menaçant d'élargir le déficit hydrique actuel. Afin de réduire les prélèvements du canal de Rocade à 57 millions de m<sup>3</sup> / an et d'éviter davantage d'utilisations pour l'agriculture irriguée, l'ONEE construit un canal du réservoir d'Al Massira à Marrakech, qui doit devenir opérationnel en 2018 avec une capacité de 95 millions de m<sup>3</sup> /an. Une interconnexion entre le canal Al Massira et le canal de Rocade, comme le montre la figure 11, est nécessaire pour éviter les pénuries d'eau dans le sud de Marrakech.

Des investissements supplémentaires seront nécessaires pour répondre à la croissance de la demande en eau potable de la région au-delà de 2025, de crainte que les allocations d'eau déjà réduites pour l'agriculture irriguée ne soient davantage détournées vers l'approvisionnement urbain en eau. Le volume du canal d'Al Massira à Marrakech pourrait être doublé en 2030.

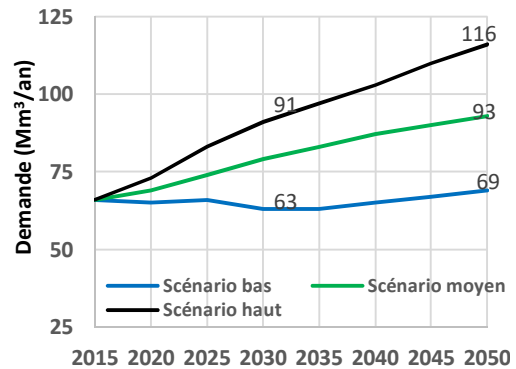


Figure 11 - Projection du volume du système d'approvisionnement en eau potable et de la demande pour Marrakech (2030)

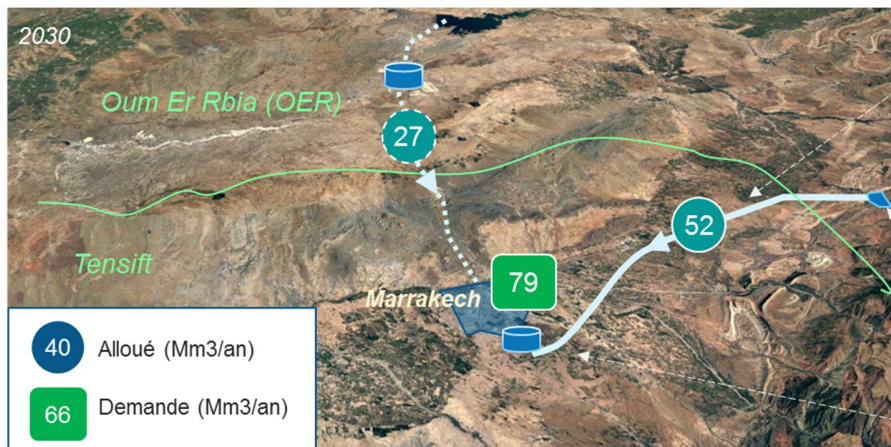


Figure 12 - Système d'approvisionnement en eau en gros du Grand Marrakech - 2030

**Si le déficit hydrique est marginal au niveau de la ville de Marrakech, il est déjà chronique au niveau du bassin.** Les ressources en eau sont caractérisées par une forte variabilité interannuelle et une réduction importante de la disponibilité des ressources en eau depuis le début des années 1980, de respectivement 40% et 15%, comme le montre la figure 12. Les besoins en eau pour l'irrigation tgr téugpv environ 92% de toutes les demandes dans le bassin du Tensift, alors que la demande totale pour le bassin dépassent la disponibilité d'une année moyenne de 300 millions de m<sup>3</sup> /an, ce qui peut parfois atteindre 900 millions de m<sup>3</sup> / an dans des conditions de sécheresse vécues une fois tous les cinq ans en moyenne. Au niveau du canal de Rocade, les déficits en eau de surface sont estimés à 170 millions de m<sup>3</sup>/an en moyenne et à 280 millions de m<sup>3</sup> / an dans des conditions de sécheresse comme décrit ci-dessus. Compte tenu de la priorité donnée à l'approvisionnement en eau potable sur les autres utilisations, l'agriculture irriguée répond à ce déficit en surexploitant de manière non durable les eaux souterraines de l'aquifère Haouz par des prélèvements estimés à 176 millions de m<sup>3</sup> / an sur la période 2001-2013 (GIZ, 2016). Dans le bassin d'Oum Er Rbia, les déficits hydriques dépassent déjà 1 000 millions de m<sup>3</sup> par an (2010), et le prochain transfert d'eau d'Al Massira se fera au détriment de l'agriculture irriguée dans le bassin d'Oum Er Rbia.

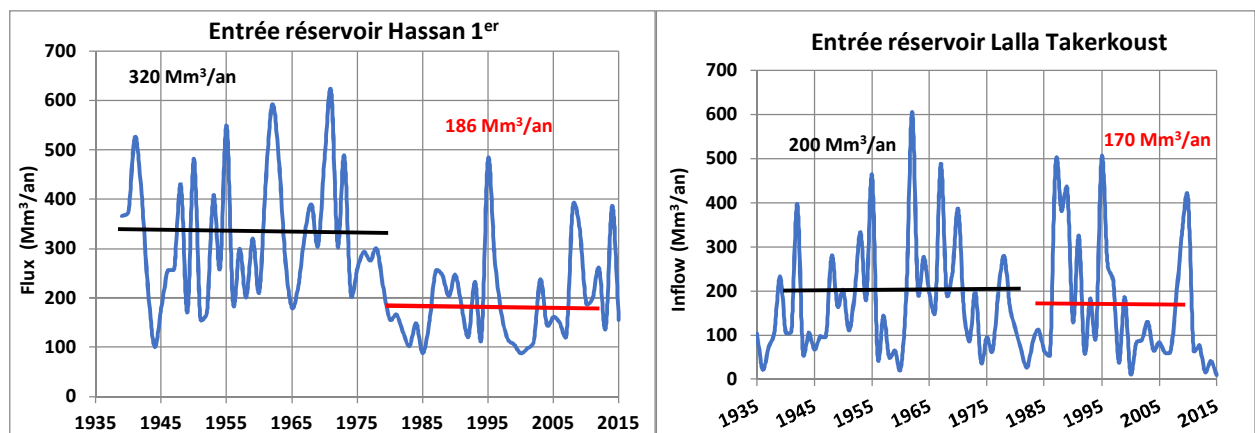


Figure 13 - Évolution des flux des réservoirs de Lalla Takerkoust et Hassan 1<sup>er</sup>

**Ces déficits devraient augmenter en raison du changement climatique.** La plupart des modèles climatiques mondiaux prévoient un futur plus sec et plus chaud pour la région du Maghreb, avec en moyenne une réduction de 20% des précipitations, mais avec des variations importantes. Ceci conduit à des réductions sévères et à une variabilité accrue de la disponibilité en eau de surface (jusqu'à au moins -50% ou plus de moins) et à la recharge des eaux souterraines, surpassant potentiellement les réductions de ruissellement et de recharge déjà observées depuis les années 1980s. Le tableau 1 ci-dessous combine les changements climatiques projetés avec la variabilité climatique existante pour arriver à des scénarios plausibles de réduction de disponibilité d'eau d'ici 2050, ce qui est présenté dans le tableau 2 comme d'éventuelles pénuries d'eau *supplémentaires* futures (2050) dans la région de Marrakech.

		Réduction du ruissellement dans les bassins due au changement climatique			
		Faible	Moyenne	Haute	
		0%	25%	50%	
Réduction du ruissellement dans les bassins en raison de la variabilité	Année moyenne	0%	0%	25%	50%
	Année sèche (Quintile le plus extrême soit 20%)	40% -60%	50%	5.	75 %
	Année très sèche (Décile le plus extrême soit 10%)	60%-80%	70%	5.	85%

Tableau 1 - Scénarios de réduction de la disponibilité de l'eau d'ici 2050 - effets combinés sur le changement et la variabilité climatiques

Les effets combinés des changements climatiques et à la variabilité climatique pourraient en 2050 se traduire par un déficit d'eau supplémentaire de 400 millions de m<sup>3</sup> / an pour une année moyenne et jusqu'à 1 000 millions de m<sup>3</sup> / an pour une année sèche (Quintile le plus extrême soit 20%) ou encore plus de 1 300 millions de m<sup>3</sup>/ an dans le scénario le plus catastrophique, comme décrit dans le tableau 2. Ce déficit serait à ajouter au déficit déjà observé, notamment un déficit de 170 millions de m<sup>3</sup>/an au niveau du canal de Rocade et un déficit des eaux souterraines de 176 millions de m<sup>3</sup>/ an. Le déficit d'eau de surface projeté dépasse largement la capacité du bassin d'Oum Er Rbia pour le transfert interbassins, tandis que l'augmentation des déficits des eaux souterraines risque d'épuiser les aquifères et d'accroître la concurrence pour les eaux de surface. L'agriculture irriguée devra sans aucun doute faire face à des réductions importantes dans le futur, afin de combler l'écart et de garantir un approvisionnement suffisant en eau potable dans la région.

Scénario de changement climatique	Faible	Moyenne	Haute	Faible	Moyenne	Faible	Haute	Moyenne	Haute
Scénario de variabilité	Année moyenne	Année moyenne	Année moyenne	Année sèche	Année sèche	Année très sèche	Année sèche	Année très sèche	Année très sèche
<b>Impact combiné sur le déficit hydrique:</b>									
%	0%	25%	50%	50%	63%	70%	75 %	77.50%	85%
Mm <sup>3</sup> / an	0	400	800	767	982	1,073	1 183	1,205	13,367
Eaux de surface	0	324	648	615	791	861	956	970.	1,079
Eaux souterraines	0	76	152	152	191	212	227	235	258

Tableau 2 - Synthèse des impacts estimés des scénarios combinés de changement climatique et de variabilité climatique sur le bilan hydrique de la région de Marrakech (à l'horizon 2050)

## 5.2. Concevoir un approvisionnement en eau résilient et diversifié pour la région de Marrakech

Alors que la loi attribue la priorité à l'approvisionnement en eau potable, la concurrence accrue avec le secteur de l'irrigation peut mettre Marrakech sur une voie dangereuse. Les besoins en eau urbaine augmentent rapidement au détriment du secteur agricole. Marrakech utilise déjà une fraction des allocations d'eau d'irrigation pour satisfaire sa demande en eau. Ces volumes semblent marginaux par rapport à l'allocation totale de l'irrigation, ce qui peut suggérer que la ville pourra toujours utiliser l'eau

agricole comme « tampon » pour couvrir les déficits futurs. Mais avec des déficits sévères d'eau prévus au niveau du bassin et des conséquences sociales et économiques potentiellement graves dans le secteur rural, la concurrence pour l'eau entre les utilisateurs risque de devenir féroce à l'avenir.

**Dans ce contexte, le secteur de l'eau en milieu urbain doit examiner comment il peut contribuer à réduire sa demande en eau et créer de nouvelles sources d'eau au profit d'autres secteurs, dans le cadre d'une approche intégrée de gestion de l'eau urbaine.** Diverses options pour construire un approvisionnement en eau résilient et diversifié pour la ville de Marrakech ont été conçues en respectant les principes généraux suivants: (i) la gestion de la demande pour réduire la dépendance économique urbaine à l'utilisation de l'eau; (ii) la diversification des ressources en eau pour couvrir les risques de ressources spécifiques; (iii) la priorité aux ressources en eau locales pour réduire la concurrence avec les autres utilisateurs, et (iv) le développement d'un « tampon » contre la variabilité climatique. Les solutions envisagées ont été regroupées en trois catégories d'options :

- **Options de gestion de la demande** : i) Réduction des pertes physiques grâce à la réhabilitation du réseau ; et ii) de meilleures pratiques pour la gestion de la demande, y compris l'aménagement paysager des espaces verts urbains ;
- **Options non conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau** : i) Dessalement, ii) réutilisation des eaux usées traitées ; iii) réutilisation des eaux grises dans les hôtels ; iv) la collecte des eaux de pluie ; et v) la recharge des aquifères ;
- **Options conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau** : i) Construction de nouveaux barrages ; ii) augmentation de la hauteur des barrages des réservoirs existants ; et (3) transferts d'eau interbassins.

### *5.2.1. Options de gestion de la demande et de conservation de l'eau*

**Des gains supplémentaires peuvent être obtenus grâce à la réhabilitation du réseau, à la détection des fuites et aux mesures d'accompagnement.** Les pertes physiques du réseau de distribution de la RADEEMA sont actuellement de 25% ou 17 millions de m<sup>3</sup>/an (2016), ce qui est une amélioration majeure depuis le début des années 2000, lorsque l'eau non facturée représentait près de 44% de l'eau distribuée. Dans des conditions de statu quo, ces pertes passeraient à 25 millions de m<sup>3</sup> / an d'ici 2050. La RADEEMA vise actuellement à réduire les pertes pour atteindre 23% d'ici 2019 suite à un plan d'action d'un montant inférieur à 100 millions de MAD. Le coût de cette intervention est donc estimé à 4 MAD par m<sup>3</sup> recouvert, ce qui est nettement inférieur au coût financier lié au transfert d'eau des bassins du Nord (environ 12 MAD par m<sup>3</sup>) et même inférieur au coût économique qui intégrerait la valeur des économies d'eau. Le niveau économique de fuites est donc susceptible d'être très inférieur à 23%, s'il est calculé en prenant en compte le cycle complet de production et de distribution de l'eau. Cependant, le mandat de la RADEEMA se limitant à la distribution d'eau et le tarif de vente d'eau en gros de l'ONEE (3,5 MAD par m<sup>3</sup>) étant nettement inférieur à son coût réel, les incitations sont limitées pour que l'opérateur cible mieux le niveau économique de fuites. Sur la base d'expériences internationales, il semblerait réaliste de considérer un niveau économique de fuites de l'ordre de 10 à 15%. Par souci d'analyse économique et de comparaisons ultérieures dans cette étude, l'amélioration du rendement du réseau de distribution à 85% en 2030 et 90% d'ici 2050 sera considérée, conduisant à des économies d'eau de 10 millions de m<sup>3</sup> / an d'ici 2030 et 15 millions de m<sup>3</sup>/an d'ici 2050.

L'investissement initial est estimé à 100 millions de MAD, avec des investissements supplémentaires de 15 millions de MAD par an. Les externalités positives de cet investissement sont une concurrence réduite et une pression plus limitée sur les ressources en eau de la région, tandis que du côté négatif, la recharge de l'aquifère du Haouz par les fuites d'eau peut être réduite.



**Les possibilités d'économies d'eau grâce à la gestion de la demande en eau résidentielle semblent plus limitées.** Le niveau actuel de consommation d'eau résidentielle à Marrakech oscille autour de 110 litres par habitant par jour et offre peu de possibilités de réduction importante de la demande, même si les taux de consommation sont même légèrement inférieurs dans certaines autres villes du pays, comme le montre la figure 3. Néanmoins, la gestion de la demande nécessite une attention constante pour s'assurer que les taux de consommation urbaine n'augmenteront pas à l'avenir en raison du développement économique et de la prospérité croissante des citoyens. Comme indiqué dans la section 3.2, la conservation de l'eau peut être assurée notamment par la sensibilisation à la rareté de l'eau et à la conservation de l'eau, la tarification adéquate de l'eau potable, les compteurs universels, les programmes d'incitation et de catégorisation de l'utilisation de l'eau. Les externalités positives sont une concurrence réduite et une pression moindre sur les maigres ressources en eau de la région, et les avantages environnementaux et économiques liés à une diminution de la production et du traitement des eaux usées. Parallèlement, le gouvernement du Maroc met en œuvre un programme ambitieux visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans le secteur de l'irrigation, tel que décrit dans l'encadré 2.

Les programmes sectoriels du gouvernement visent à renforcer la résilience du secteur agricole tout en augmentant les revenus des agriculteurs. Dans le cadre du Plan Vert Maroc, le gouvernement aide les agriculteurs à introduire des technologies intelligentes face au climat telles que l'ensemencement direct, les variétés résilientes au climat et des techniques améliorées de gestion de l'eau liées à l'amélioration de la qualité et des services phytosanitaires, ainsi que l'agrégation et la transformation agroalimentaire qui améliorent les opportunités économiques. Pour augmenter la productivité de l'eau en agriculture, le Gouvernement du Maroc (GdM) a mis en place un Plan National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI). Le PNEEI favorise une utilisation plus productive de l'eau en introduisant des technologies d'irrigation efficaces (principalement irrigation goutte-à-goutte) sur 555 000 ha de terres irriguées d'ici 2020, dont 335 000 ha dans des exploitations privées et 220 000 ha dans des périmètres irrigués à grande échelle. Le gouvernement soutient ce processus par le biais du fonds de développement agricole, avec jusqu'à 100% de subventions pour l'irrigation au goutte-à-goutte et par micro-aspiration (avec un montant maximum par hectare) et 70% pour l'irrigation par aspersion.

*Encadré 2 : Mesures entreprises pour réduire la consommation en eau dans l'irrigation*



*Figure 14 - Xéropaysagisme – golf de Marrakech*

**Des approches alternatives de l'aménagement paysager et du jardinage dans les espaces publics pourraient toutefois apporter des avantages tangibles.**

L'aménagement urbain des jardins royaux et urbains est un domaine où des économies d'eau concrètes immédiates peuvent être réalisées grâce à l'introduction de plantes résistantes à la sécheresse et à l'irrigation au goutte-à-goutte dans les espaces verts publics et autour des terrains de golf (xéropaysagisme). Actuellement, l'arrosage des espaces verts entraîne une consommation excessive d'eau souterraine, principalement en raison des méthodes d'irrigation à forte consommation d'eau et

de la sélection des plantes (par exemple, l'herbe au lieu des plantes de cactus). On estime que 12 millions de m<sup>3</sup> d'eau sont utilisés chaque année pour arroser 1 500 ha d'espaces verts publics dans la région de Marrakech. L'introduction de chaussées partielles, de plantes résistantes à la sécheresse et la généralisation de l'irrigation au goutte-à-goutte sur une zone publique de 500 ha pourrait réduire la demande en eau de 2 millions de m<sup>3</sup> par an grâce pour un investissement de 250 millions de MAD. Compte tenu de l'importance du maintien de l'attractivité de la ville, un tel type d'intervention nécessiterait une consultation approfondie et une sensibilisation des parties prenantes.

### 5.2.2. Options non conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau

**A travers les transferts d'eau virtuels, le dessalement d'eau de mer peut être un atout majeur pour la ville de Marrakech.** Le marché du dessalement dans la région MENA est mature et a permis de réaliser certains des projets de dessalement les moins chers au monde. Le PNE (2015) prévoit la construction d'usines de dessalement d'eau de mer pour produire près de 515 millions de m<sup>3</sup>/ an en 2030. L'approvisionnement en eau potable des villes côtières d'El Jadida et de Safi prévu à partir du dessalement d'eau de mer permettra de récupérer dans ces villes d'importants volumes actuellement alloués depuis le barrage d'Al Massira ou le barrage de Kasba Tadla. Si les pertes d'eau par évaporation le long des canaux entre barrage d'Al Massira et les deux villes, estimées à 25% à 30%, sont pris en compte, cela représentera une allocation supplémentaire de 60 millions de m<sup>3</sup>/ an d'ici 2030 et 75 millions de m<sup>3</sup>/ an d'ici 2050 pour Marrakech. La figure 14 illustre le transfert virtuel possible associé à la mise en œuvre de ces usines de dessalement.

**Le dessalement restera toutefois une solution coûteuse, même si la nature virtuelle du transfert évite les coûts de transport importants de la côte jusqu'à la ville, avec une montée de 800 mètres.** Le coût du transfert de volumes équivalents du barrage d'Al Massira ou du barrage de Kasba Tadla à Marrakech (900 millions de MAD) doit en effet être pris en compte. Le coût de l'extension d'une capacité équivalente des usines de dessalement existantes de Safi et de Jorf Lasfar de 56 millions de m<sup>3</sup> / an d'ici 2050 représentent environ 1480 millions de MAD (dont 240 millions pour les structures de connexion). Cela équivaut à 8 000 MAD par m<sup>3</sup> / jour soit un investissement de 22,5 MAD par m<sup>3</sup> de capacité annuelle installée, sans compter le coût des ouvrages de connexion. Même si ce transfert virtuel optimise le lien eau-énergie, les externalités négatives incluent les émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'énergie (à moins que l'énergie éolienne et solaire ne soit utilisée). Les impacts du rejet de saumure résiduelle dans le milieu marin nécessitent également une évaluation minutieuse.



**Après avoir été pionnière dans la réutilisation des eaux usées traitées dans les années 2000, Marrakech dispose d'un éventail d'options pour augmenter considérablement l'utilisation de cette ressource en eau.** Dans un contexte de stress hydrique croissant, Marrakech a été confrontée au milieu des années 2000 à une forte demande pour le développement d'une industrie du tourisme de golf intensive en eau.

Les 20 projets de terrains de golf prévus auraient nécessité une augmentation de 20 millions de m<sup>3</sup> des réserves d'eau, soit environ le tiers du montant déjà utilisé à ce moment-là. La ville s'est tournée vers le traitement et la réutilisation des eaux usées avec un fort soutien politique et financier, en particulier de la part du gouvernement central du Maroc, en échange d'objectifs stricts d'amélioration de l'eau non facturée. La capacité de la station d'épuration est déjà presque saturée à 33 millions de m<sup>3</sup>/an ; actuellement seulement 7 millions de m<sup>3</sup> / an sont utilisés à la Palmeraie et dans des terrains de golf, étant donné que tous les projets de golf n'ont pas été mis en œuvre ou n'ont pas entièrement abandonné l'utilisation de l'eau souterraine. L'utilisation de la capacité additionnelle pourrait être une priorité, afin d'arroser les espaces verts urbains, d'approvisionner les terrains de golf et la Palmeraie (jusqu'à 20 à 25 millions de m<sup>3</sup> / an), d'assurer la recharge artificielle de l'aquifère d'Haouz et de subvenir à l'agriculture irriguée proche de la ville. La capacité de traitement actuelle pourrait même, à l'avenir, être portée à 60 millions de m<sup>3</sup> / an (potentiellement d'ici 2050) pour permettre ces différents usages. Maximiser la vente de cette eau aux terrains de golf nécessiterait la mise en œuvre d'accords et de « contrats d'aquifères » avec ces entités. La réutilisation de ces eaux pour l'irrigation pourrait tirer parti de la teneur élevée en éléments nutritifs (N, P) des effluents traités, une surveillance étroite, et d'autres pratiques telles que la dilution pouvant contribuer à garantir le respect des normes de qualité. Dans tous les cas, une communication bien conçue et ciblée sera nécessaire pour encourager les agriculteurs à accepter cette ressource pour l'irrigation.

**Tirer parti de l'infrastructure existante pourrait aider à réduire le coût du développement de l'infrastructure de réutilisation.** Les coûts d'investissement pour l'extension de la station d'eau potable d'un volume supplémentaire de 30 millions de m<sup>3</sup> / an sont estimés à 1 milliard de MAD dont 200 millions pour le traitement tertiaire. Le système de distribution pour la réutilisation des eaux usées traitées coûterait 300 millions de MAD. Le traitement primaire et secondaire des eaux usées étant obligatoire avec ou sans réutilisation, les coûts d'investissement et d'exploitation correspondants pour ces traitements ne sont pas pris en compte dans les estimations de coûts de réutilisation ; l'investissement total pour cette option est donc estimé à 500 millions de MAD soit 17 MAD par m<sup>3</sup> de capacité annuelle installée. Les externalités positives de cette option concernent un rejet réduit de nutriments dans l'environnement.

**Bien qu'il soit possible de promouvoir la réutilisation des eaux grises dans les hôtels, les coûts associés peuvent être relativement élevés.** La consommation d'eau actuelle des hôtels à Marrakech a été évaluée à 3,5 millions m<sup>3</sup> / an, dont environ 50% deviennent des eaux grises avec une faible charge de pollution, suffisante pour un traitement sur site. La capacité d'hébergement devrait au moins doubler d'ici 2030, offrant la possibilité d'appliquer des normes de double tuyauterie dans les nouveaux bâtiments. Un programme de réutilisation des eaux grises a été conceptualisé sur la base de la demande en eau pour irriguer les espaces verts et les chasses d'eau des hôtels (environ 1,7 millions de m<sup>3</sup> par an en 2030). Une telle intervention nécessiterait un investissement de 400 millions de MAD pour la collecte sélective des eaux grises, des systèmes de traitement et des infrastructures de réutilisation, soit l'équivalent de 235 dirhams par m<sup>3</sup> de capacité installée. Les coûts peuvent donc être comparativement élevés, avec des gains quantitatifs limités ; cette solution contribue, comme la réutilisation des eaux usées, à améliorer la résilience de la ville aux chocs climatiques. Cette solution n'entraîne pas d'externalités majeures.

**La collecte de l'eau de pluie dans les environnements ruraux et urbains apparaît comme l'option la plus coûteuse en raison de l'absence d'économies d'échelle, mais elle pourrait offrir une solution de survie dans les zones reculées.** Le programme de collecte d'eau de pluie rurale à petite échelle proposé pour la région du Grand Marrakech vise à fournir une partie de l'approvisionnement en eau aux populations des zones périphériques de la ville, ainsi qu'à recharger l'aquifère. Cela permet également de libérer de l'eau potable supplémentaire pour la ville. L'intervention proposée comprend la construction de lacs à flanc de colline d'une capacité totale de 4 millions de m<sup>3</sup>, de réservoirs d'eau souterrains collectifs (Métfias) d'une

capacité totale de 60 000 m<sup>3</sup> et la réhabilitation de Métfias collectives et individuelles. Ces mesures pourraient en temps voulu générer un volume d'eau de 3 millions de m<sup>3</sup> par an avec un coût d'investissement de 130 millions de MAD, ce qui équivaut à 43 MAD par m<sup>3</sup> de capacité installée. Le coût de la collecte des eaux de pluie dans les zones urbaines de Marrakech est beaucoup plus élevé, estimé à 90 millions de MAD pour un volume relativement faible de 0,2 m<sup>3</sup> / an, ce qui équivaut à 450 MAD par m<sup>3</sup> de capacité installée. Le programme proposé comprend la construction de 15 bassins de rétention couverts, 500 projets de collecte d'eau de pluie dans les bâtiments et les écoles du gouvernement et 1 000 réservoirs individuels devant être construits par la population. Les externalités positives incluent la réduction des besoins de transport des eaux pluviales et de traitement des eaux usées, tandis que les points négatifs comprennent une réduction possible de la recharge de l'aquifère et des rivières en aval.

**La recharge des aquifères pourrait être très prometteuse, mais elle nécessiterait un renforcement de la gouvernance des eaux souterraines.**

Cette option comprend la construction de 100 barrages d'infiltration de faible hauteur le long des rivières tributaires de la rivière Tensift, notamment Ghdat, Zat et Rheraya, qui offrent des emplacements adéquats pour la recharge artificielle de l'aquifère du Haouz, comme le montre la figure 15. On estime que le volume de recharge à travers ces schémas d'infiltration pourrait atteindre 50 millions de m<sup>3</sup>/an. Les coûts d'investissement sont estimés à 300 millions de MAD, ce qui équivaut à 6 MAD par m<sup>3</sup> de capacité installée, le coût le plus bas de toutes les options envisagées.

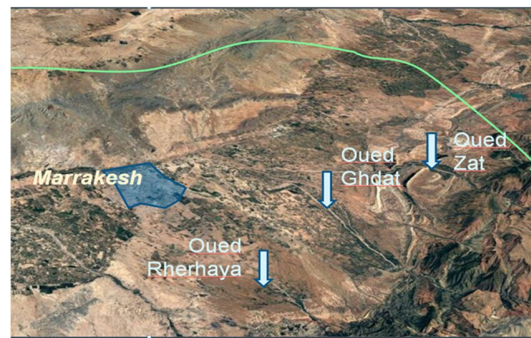


Figure 16 – Location of possible aquifer recharge sites

Cependant, compte tenu de l'exploitation incontrôlée de cet aquifère à travers le bassin, seule une partie de ces volumes pourrait être directement disponible pour Marrakech, le reste s'étendant au-delà du périmètre d'abstraction de la ville. Une gouvernance des eaux souterraines renforcée et des mécanismes clairs de partage des coûts et des bénéfices entre les usagers urbains et non-urbains seraient donc nécessaires pour intensifier cette approche. Une telle intervention permettrait également d'atténuer les risques d'inondation dans les zones urbaines en aval.

**5.2.3. Options conventionnelles pour l'augmentation de l'approvisionnement en eau**

La SNE (2009) a prévu d'investir 21 milliards de MAD sur la période 2010 - 2030 dans de nouveaux barrages et réservoirs et d'élever le niveau des barrages existants, avec pour objectif de mobiliser chaque année 1,7 milliard de m<sup>3</sup> supplémentaires. Ceci doit être réalisé à la fois par la construction de nouveaux barrages et l'augmentation de la capacité de stockage des réservoirs existants.

**La construction de nouveaux barrages pourrait entraîner une augmentation significative de l'approvisionnement en eau, mais à un coût économique majeur.** Cette option considère la construction du barrage d'Ait Ziat avec une capacité de stockage de 95 millions de m<sup>3</sup>, comme illustré par la figure 16 (panneau de gauche), pour stocker l'eau de surface pour l'alimentation en eau municipale. Le barrage du réservoir permettrait à partir de 2030 de renforcer l'irrigation en aval du barrage et d'allouer une quantité supplémentaire de 30 millions de m<sup>3</sup> / an à l'alimentation en eau potable de Marrakech. Cette option exploite la capacité existante mais insuffisamment utilisée du Canal de Rcade et de l'usine de traitement



des eaux existante au sud de Marrakech, et réduit les coûts d'exploitation du pompage d'un volume aussi important d'Al Massira à Marrakech via le canal en construction.

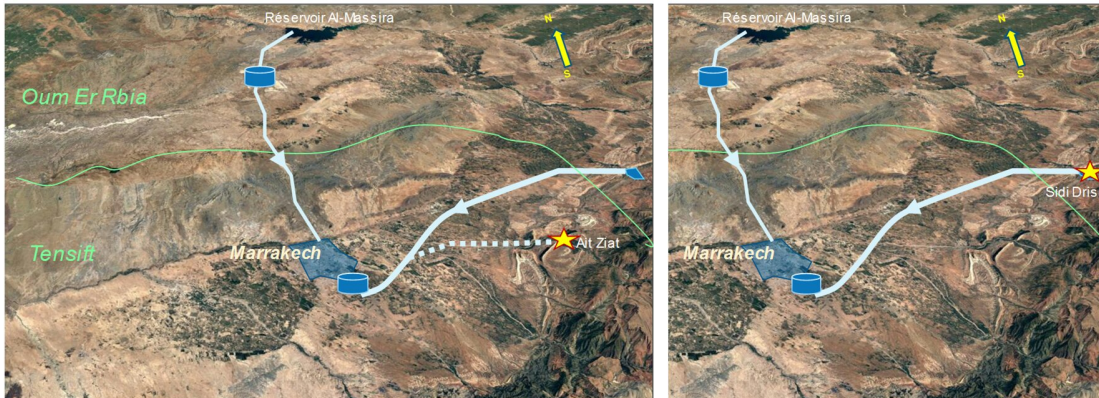


Figure 17 – Emplacement du nouveau barrage Ait Ziat (option SW4; figure de gauche) et le barrage Sidi Driss existant (SW5)

Le coût d'investissement est estimé à 900 millions de dirhams, dont environ 450 millions de dirhams seraient alloués à la partie eau potable, soit un investissement de 15 millions de dirhams par m<sup>3</sup> de capacité annuelle installée. Cette solution entraînerait toutefois des impacts sociaux et environnementaux importants, y compris la réinstallation des populations, avec des coûts économiques associés estimés à 176 millions de dirhams. En outre, comme d'autres solutions reposant sur l'eau de surface, cela ne réduirait pas la vulnérabilité de Marrakech aux effets du changement climatique.

**Moins efficace, mais aussi vulnérable au changement climatique, pourrait être l'augmentation de la capacité de stockage des réservoirs existants (SW5) :** Cette option considère l'élévation du barrage existant de Sidi Driss situé sur la rivière Lakhdar, identifiée dans la figure 16 (image de droite). L'augmentation de près de 40 m de la hauteur du barrage permettrait à partir de 2030 d'augmenter le volume de stockage de 1,2 Mm<sup>3</sup> à environ 73 Mm<sup>3</sup> et d'augmenter l'allocation d'eau du Canal de Rocade d'environ 50 Mm<sup>3</sup> / an, dont 27 Mm<sup>3</sup> / an pourraient être alloués à l'approvisionnement en eau de Marrakech. Comme dans le cas ci-dessus, cela permettrait d'utiliser les capacités existantes de transport et de traitement, ainsi que de réduire les coûts d'exploitation du gazoduc du barrage d'Al Massira à Marrakech.

Les coûts d'investissement sont estimés à 605 millions de dirhams, dont environ 350 millions de dirhams seraient affectés à la partie eau potable, soit un investissement de 13 dirhams par m<sup>3</sup> de capacité annuelle installée. Cette solution n'entraînerait pas d'impacts environnementaux importants. De plus, cela permettrait une augmentation de la production d'énergie à travers la centrale hydroélectrique d'Ammouguez en aval, une augmentation des approvisionnements en eau pour les petites villes et l'irrigation en aval, et le développement d'aires récréatives.

**Les transferts interbassins, notamment à partir du Nord, sont actuellement considérés comme des solutions de base pour relever les défis de la sécurité de l'eau à Marrakech.** Le PNE (2015) envisage un transfert d'eau interbassins entre les bassins de Loukkos et Sebou au nord (ayant plus d'eau) vers les bassins centraux du Maroc à travers un système de canaux atteignant le barrage d'Al Massira dans le bassin d'Oum-Er-Rbia, comme le montre la Figure 17. La phase I du projet de canal (discutée dans la section 5.1) devrait être opérationnelle en 2018, et le coût du traitement et de l'acheminement de l'eau

du barrage d'Al Massira à Marrakech est estimé à 7 MAD/m<sup>3</sup>. En amont, le coût du transfert d'eau depuis le nord jusqu'au barrage d'Al Massira est estimé à 7,4 MAD / m<sup>3</sup>, soit un total de 14,4 MAD / m<sup>3</sup>. Cette option comprend : la phase II du projet de transfert d'Al Massira reliant le canal au système d'adduction d'eau de RADEEMA au sud de Marrakech, tandis que la phase III concerne un second canal parallèle reliant Al-Massira à Marrakech.

Les coûts d'investissement pour les phases II et III sont estimés à 2,75 milliards de MAD, ce qui représente à long terme (> 2045) un volume supplémentaire de 108 millions de m<sup>3</sup> par an disponible pour Marrakech. Les besoins d'investissement sont estimés à 4,7 MAD / m<sup>3</sup> et le coût total des eaux transférées du nord via le barrage d'Al Massira à Marrakech s'élèvera ainsi à environ 12,1 MAD / m<sup>3</sup> pour les phases II et III, contre 14,4 MAD / m<sup>3</sup> pour la Phase I. Comme la phase I est déjà en construction, cette analyse considère le coût d'investissement de la phase I comme un coût irrécupérable.



Figure 17 - Schéma des projets de transfert d'eau interbassins vers Marrakech via le barrage d'Al Massira ou le barrage de Kasba Tadla (source : PDAIRE Tensift)

**Alternativement, un transfert interbassin plus rentable du barrage de Kasba Tadla à Marrakech pourrait être envisagé en remplacement des phases II et III du transfert interbassins à travers le réservoir d'Al Massira.** Au lieu de transférer l'eau du nord par le barrage de Al Massira vers Marrakech comme envisagé dans l'option WT1a ci-dessus, cette option alternative détournerait l'eau au niveau du barrage existant de Kasba Tadla, situé en amont du barrage Al Massira sur la rivière Oum Er Rbia. Cela réduirait les flux dans le réservoir d'Al Massira et devra être compensé par le transfert d'eau des bassins du Nord. Cette option est conçue pour fournir 60 millions de m<sup>3</sup> par an à Marrakech, dès 2025. Les coûts d'investissement pour la fourniture de 60 millions de m<sup>3</sup> par an à Marrakech sont estimés à 900 millions de MAD, afin de relier Kasba Tadla au Canal de Rcade par des canaux partiellement existants (en vert sur la figure 18) et par de nouvelles infrastructures (sections rouges en gras). Ces coûts sont équivalents à 15 MAD par m<sup>3</sup> de capacité annuelle installée. Le prix de revient de l'eau est estimé à 3,2 MAD par m<sup>3</sup> à partir de Kasba Tadla,

et le coût total de l'eau transférée du Nord à Al Massira et du barrage de Kasba Tadla à Marrakech s'élèvera ainsi à environ 10,6 MAD par m<sup>3</sup>, soit 1,5 MAD par m<sup>3</sup> en dessous de l'option de transfert interbassin précédente (via le réservoir d'Al Massira). Les impacts positifs de cette option incluraient également la réduction des pertes d'eau par évaporation et infiltration de la rivière Oum Er Rbia entre Kasba Tadla et Al Massira, la réduction des besoins de pompage et l'utilisation de la capacité existante de la station de traitement d'eau du Canal de Rcade au sud de Marrakech. Les impacts environnementaux de cette option devraient être minimes.

### 5.3. Comparaison des options d'approvisionnement en eau pour Marrakech

**Les options de diversification pour faire face à la pénurie d'eau imminente à Marrakech sont évaluées à l'aide d'analyses financières et économiques.** A travers une analyse financière, le prix de revient de l'eau en MAD par m<sup>3</sup> est calculé pour toutes les options. L'analyse financière des options est basée sur une estimation de la Valeur Actuelle Nette (VAN) des coûts d'investissement et d'exploitation ainsi que des volumes d'eau mis à disposition jusqu'en 2050, à un taux d'actualisation de 5%. Ces estimations de coûts spécifiques entrent dans l'analyse économique en tant que critère « coût-efficacité », qui prend également en compte d'autres critères tels que la durabilité, la résilience au changement climatique et les risques liés à chaque option. Une surtaxe de 20% est prise en compte à tout prix. Les résultats de l'analyse financière sont résumés à la figure 18.

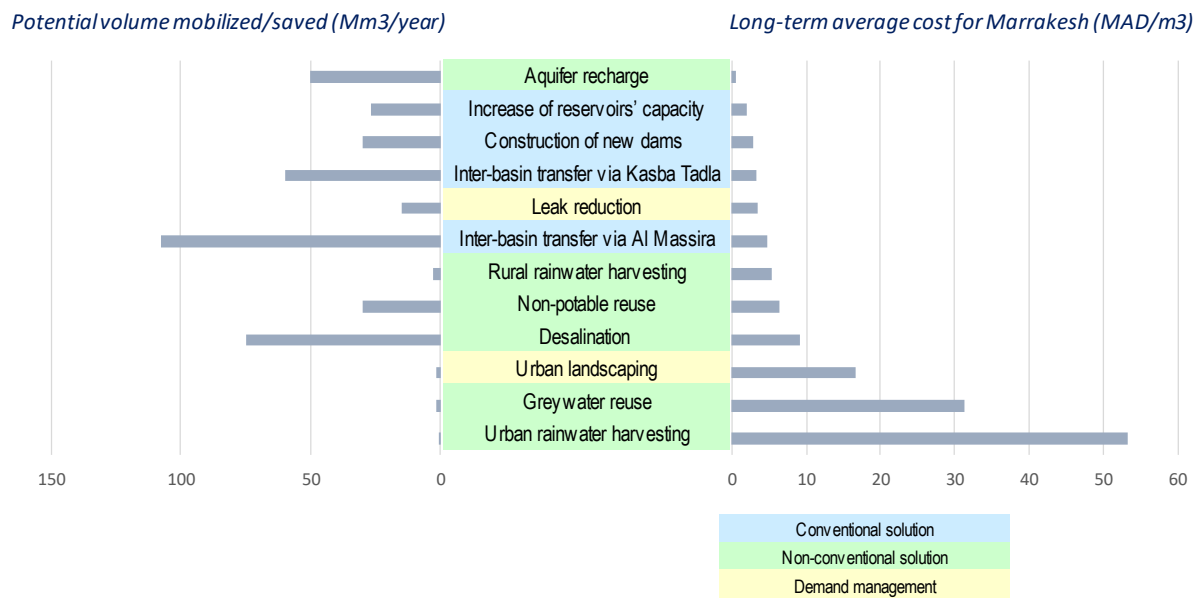


Figure 18 - Coûts des mesures et des volumes annuels d'eau générés pour différentes options d'ici 2050

**D'un point de vue financier, la recharge artificielle de l'aquifère du Haouz semble être l'option la plus attrayante, avec un volume potentiel important de stockage de l'eau.** Toutes les options conventionnelles (projets de barrage et de transfert) promettent également de fournir de grandes quantités d'eau à un coût raisonnable. L'option avec le transfert du barrage de Kasba Tadla à Marrakech, en utilisant autant que possible l'infrastructure existante est légèrement avantageuse par rapport à la construction d'un deuxième canal à partir du réservoir d'Al Massira.

**Si l'on inclut le coût du transport de l'eau du Nord à Al Massira (7,4 MAD par m<sup>3</sup>), les options de transfert deviennent relativement coûteuses par rapport à la plupart des autres solutions.** Le coût total des

options de transfert du barrage d'Al Massira ou de Kasba Tadla atteint respectivement 12,1 et 10,6 MAD par m<sup>3</sup>, dépassant ceux de réutilisation des eaux usées (6,5 MAD par m<sup>3</sup>) et de dessalement d'eau de mer (9,0 MAD par m<sup>3</sup>). Ces solutions non conventionnelles présentent un intérêt particulier en raison de leur coût modéré et de leur résilience potentielle au changement climatique. Le coût du dessalement devrait continuer de diminuer à l'avenir en raison de la réduction des coûts de l'énergie solaire.

**La collecte de l'eau de pluie en milieu urbain, la réutilisation des eaux grises et la gestion de la demande (aménagement paysager urbain) apparaissent comme les solutions les plus coûteuses et moins prometteuses en termes de volumes d'eau générés.** La récupération de l'eau de pluie en milieu rural peut néanmoins être intéressante pour résoudre les problèmes de pénurie d'eau locale. Enfin, le coût de la réduction des fuites reste compétitif au niveau actuel d'eau non-facturée. Sa pertinence économique à long-terme dépendra du coût de l'approvisionnement en eau, c'est-à-dire du choix de solutions d'approvisionnement en eau mis en place pour assurer la future sécurité hydrique de Marrakech.

#### 5.4. Comparaison multicritères des options d'approvisionnement en eau pour Marrakech

Les différentes options d'approvisionnement en eau de la région de Marrakech ont été évaluées à l'aide d'une analyse multicritère basée sur un ensemble de critères d'évaluation pondérés présentés à l'annexe A, tenant compte de critères tels que la durabilité (risques climatiques et résilience), qualité de l'eau, économie (rentabilité) et gestion des risques (y compris les risques environnementaux, sociaux et autres). Une évaluation des risques sociaux et environnementaux dépassait le cadre de cette étude. Les résultats de l'analyse sont résumés dans le tableau 3.

	Sustainability / Resilience	Demand satisfaction	Water quality	Cost effectiveness	Risk management	Total score	Ranking compared to financial analysis
	30%	20%	10%	20%	20%	100%	
Aquifer recharge	3.4	4.0	5.0	5.0	3.4	4.0	=
Desalination	3.1	5.0	4.0	4.0	3.7	3.9	☐☐
Non-potable reuse	3.9	4.0	3.0	4.0	3.7	3.8	☐☐
Increase of reservoir capacity	2.7	4.0	4.0	5.0	3.0	3.6	☐
Leak reduction	3.0	2.0	5.0	4.0	5.0	3.6	=
Inter-basin transfer via Al Massira	3.0	5.0	4.0	4.0	2.3	3.5	=
Inter-basin transfer via Kasba Tadla	3.0	5.0	4.0	4.0	2.3	3.5	☐☐
Construction of new dams	3.0	4.0	4.0	4.0	2.7	3.4	☐☐
Rural rainwater harvesting	2.2	2.0	3.0	4.0	3.4	2.8	☐
Urban landscaping	2.5	1.0	3.0	3.0	4.7	2.8	=
Greywater reuse	3.3	2.0	3.0	2.0	2.7	2.6	=
Urban rainwater harvesting	1.5	1.0	3.0	2.0	3.4	2.1	=

Conventional solution
Nonconventional solution
Demand management

Tableau 3 - Résumé de l'analyse économique des options pour l'approvisionnement en eau de Marrakech

**Le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées deviennent favorables par rapport au transfert interbassins, lorsque le coût du transfert du Nord à Al Massira, les risques environnementaux et la vulnérabilité climatique sont pris en compte.** La résilience au changement et à la variabilité climatiques renforce de manière importante la notation des solutions non conventionnelles qui ne sont pas sensibles au climat telles que la réutilisation des eaux usées traitées et le dessalement. Les impacts sociaux et environnementaux affectent négativement la notation des grandes infrastructures conventionnelles d'eau de surface, telles que les nouveaux barrages et les infrastructures de transfert



interbassins, ainsi que les problèmes d'envasement et leur vulnérabilité au changement climatique. La recharge des aquifères par infiltration reste une option très intéressante, avec des aspects de faisabilité technique et institutionnelle nécessitant une analyse plus approfondie. La notation des interventions de gestion de la demande (réduction des fuites, aménagement urbain) et d'augmentation décentralisée de l'approvisionnement (collecte des eaux pluviales, réutilisation des eaux grises) devient moins intéressante compte-tenu des volumes limités d'eau, en plus des coûts relativement élevés. Dans l'ensemble, ces hypothèses multicritères indiquent la priorisation de :

Solution	Volumes (Mm3 par an)
Recharge de l'aquifère	50
Le dessalement	75
+ transfert interbassin via Kasba Tadla ( <i>pour soutenir le schéma de dessalement</i> )	60
Réutilisation non-potable	30
Augmentation de la capacité des réservoirs	27
Réduction des fuites de réseau	15

**Si l'approche par notation est en principe subjective, elle souligne l'importance de divers facteurs pour la prise de décision dans un contexte de gestion de la pénurie d'eau en milieu urbain.** Cette analyse préliminaire pointe vers une gamme de solutions différent de celui envisagé dans le PNE, qui repose principalement sur le transfert interbassin du Nord. Des études supplémentaires seraient nécessaires pour affiner la faisabilité et la performance de chaque solution par rapport à ces différentes dimensions. Mais à ce moment charnière de l'engagement de projets d'infrastructure à grande échelle au Maroc, un examen complet des options intégrant les échelles micro (ville), méso (bassin) et macro (interbassin) pourrait apporter des avantages substantiels.

## Références

- ABHOER, 2017: Assistance technique pour l'intégration et l'évaluation des risques climatiques (ERC) dans la planification et le développement des ressources en eau au niveau du bassin de l'Oum Er Rbia
- ABHT, 2010 : Rapport d'ABH du Bassin Hydraulique de Tensift
- ABHT, 2014 : Gestion participative des ressources en eau souterraines, contrat de la nappe du Haouz-Mejjate. Communication orale de l'ABH Tensift
- Abourida A., 2007: Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotope, SIG et modélisation. Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
- AFD, 2012: Agence française de développement; Gestion de la demande en eau : étude de cas du Maroc
- Alston J.M., 1986: An analysis of growth of U.S. farmland prices 1963-1982, *American Journal of Agric. Economics*, 68, 1
- Angrill S., R. Farreny, C. M. Gasol, X. Gabarrell, B. Viñolas, A. Josa and J. Rieradevall, 2011: Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate, *Int. Journal Life Cycle Assessment*, DOI 10.1007/s11367-011-0330-6
- ANSES, 2016: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail - Risques sanitaires liés à la recharge artificielle de nappes d'eau souterraine
- Arfanuzzaman, Atiq Rahman, 2017: Sustainable water demand management in the face of rapid urbanization and groundwater depletion for social-ecological resilience building, *Global Ecology and Conservation* 10, 9–22
- Bahri, 2012: Integrated Urban Water Management. Stockholm: Global Water Partnership
- Belghiti M., 2009: Le plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI): une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau, *Revue HTE* N°143/144
- Berkamp, G., et al. 2000: *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration* Thematic Review II.1 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town, [www.dams.org](http://www.dams.org)
- Blumenthal U.J. and Peasey A., 2002: Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture, London School of Hygiene and Tropical Medicine
- Boinon et Cavailhes, J., 1988 : "Essai d'explication de la baisse du prix des terres", dans "La terre, succession et héritage", *Études rurales*, 110-111-112, Ed. EHESS, Paris, avril-décembre.
- Bolaky, B. and C. Freund, 2004: Trade, Regulations, and Growth; World Bank eLibrary <http://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-3255>
- Brears R.C., 2017: Urban Water Security, Wiley & Sons, UK, ISBN: 9781119131724
- Caziot P., 1930: « Le capital foncier et les capitaux d'exploitation », *Revue d'Économie Politique*, XLIV, pp.8-19
- CSEC, 2001: Plan directeur pour le développement des ressources en eau du bassin du Tensift, 9<sup>e</sup> session. Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, Direction de l'Hydraulique, Rabat, Maroc
- Daniell, Katherine, Jean-Daniel Rinaudo, Noel, Chan, Celine Nauges and R. Quentin Grafton, 2015: Understanding and Managing Urban Water in Transition

- Doukkali R. and C. Lejars, 2015: Energy cost of irrigation policy in Morocco: a social accounting matrix assessment. *International Journal of Water Resources Development*, Volume 31, 2015 - Issue 3: Special Issue: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900627.2015.1036966>: Water-Food-Energy-Climate nexus in Global Drylands: the epitome of 21<sup>st</sup> century development?
- Doukkali R. M. and J.G. Grijzen, 2015: Contribution économique de la surexploitation des eaux souterraine au Maroc ; World Bank Working Paper, Rabat, Maroc
- ECA et al, 2015: Economic Consulting Associates, Trémolet Consulting Limited, Waman Consulting - Economic Analysis: Reducing Morocco's Urban Water Gap. Final Report commissioned by the World Bank
- EPA, 2013: Water audits and water loss control for public water systems; <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf>
- EU, 2013: Sustainable Water Integrated Management - Support Mechanism (SWIM- SM) - Review and analysis of the status of the implementation of strategies and/or action plans for wastewater; National report for Morocco; [http://www.swim-sm.eu/files/EXECUTIVE\\_SUMMARY\\_MOROCCO\\_ENGLISH.pdf](http://www.swim-sm.eu/files/EXECUTIVE_SUMMARY_MOROCCO_ENGLISH.pdf)
- Facchini, F., 1997: Politique agricole en France et prix de la terre. « Politique agricole et prix de la terre », *Politiques et Management Public*, 1997, décembre, vol.15, numéro 4.
- Falkenmark M. and G. Lindh, 1976: *Water for a Starving World*, Westview Press, 1976 - Technology & Engineering
- Falter C.M, 2017: Greenhouse Gas Emissions from Lakes & Reservoirs: The Likely Contribution of Hydroelectric Project Reservoirs on the Mid-Columbia River <https://www.chelanpud.org/docs/default-source/default-document-library/chelan-pud-mid-columbia-river-hydro-project-greenhouse-gas-emissions.pdf>
- FAO and WWC, 2015: Towards a water and food secure future. Critical Perspectives for Policy-maker; <http://www.fao.org/3/a-i4560e.pdf>
- García-Valiñas, 2005: Efficiency and equity in natural resources pricing: A proposal for urban water distribution service. *Environmental and Resource Economics* 32, 183–204
- GIZ, 2016: Élaboration de la convention GIRE du Bassin de Haouz-Mejjate, Diagnostic du bassin global
- Grijzen J.G., 2011: Sustainability of the Chambal River Water Resources, Chambal - Bhilwara Water Supply Project; report prepared for the World Bank Water Anchor and Water Expert Team
- GWl, 2009: *Municipal water reuse markets 2010*. Oxford, UK: Media Analytics Ltd.
- GWl, 2016: *Desalination and water reuse*, Media Analytics Ltd., Oxford, UK
- Global Water Partnership, 2000: *La gestion intégrée des ressources en eau*, TAC Background Papers # 4
- GWP, 2011: Global Water Partnership: <http://www.gwp.org/en/GWP-CEE/about/why/what-is-iwrm>
- Hati H. and K. Kounhi, 2012: Essai d'amélioration du système de distribution d'eau potable à la ville de Marrakech
- Hollweg, C. H., D. Lederman, D. Rojas, and E. R. Bulmer, 2014: *Sticky Feet: How Labor Market Frictions Shape the Impact of International Trade on Jobs and Wages*; *Directions in Development*; Washington, DC: World Bank.doi:10.1596/978-1-4648-0263-8

- IEA, 2012: Water for energy; is energy becoming a thirstier resource? [http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO\\_2012\\_Water\\_Excerpt.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO_2012_Water_Excerpt.pdf)
- ILO, 1998: Migration and population distribution in developing countries: Problems and policies. In: United Nations (Ed.), Population distribution and migration. Proceedings of the United Nations expert group meeting on population distribution and migration, Santa Cruz, Bolivia, January 18–22, 1993
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.); Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press.
- IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32; [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf)
- IWMI, undated: Chapter 2, Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use; [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9789401795449-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1493735-p177017059](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9789401795449-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1493735-p177017059);
- JICA, 2008: Étude du Plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz, Maroc
- Khomsî, K., Mahe, G., Trambly, Y., Sinan, M., and Snoussi, M., 2016: Regional impacts of global change: seasonal trends in extreme rainfall, run-off and temperature in two contrasting regions of Morocco, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 1079-1090, doi:10.5194/nhess-16-1079-2016
- Kuper M., Bouarfa S., Errahj M., Faysse N., Hammani A., Hartani T., Marlet S., Zairi A., Bahri A., Debbarh A., Garin P., Jamin J.-Y., Vincent B., 2009: A crop needs more than a drop: towards new praxis in irrigation management in North Africa. *Irrigation and Drainage*
- Kurtze J., M. Morais, E. Platko, H. Thompson, 2015: Advancing Water Management Strategies in Morocco - [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-101615-040211/unrestricted/IQP-Sponsor\\_Edition.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-101615-040211/unrestricted/IQP-Sponsor_Edition.pdf)
- Lautze, J.; Stander, E.; Drechsel, P.; da Silva, A. K.; Keraita, B. 2014: Global experiences in water reuse. IWMI - CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (Resource Recovery and Reuse Series 4): [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\\_recovery\\_and\\_reuse-series\\_4.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_4.pdf)
- Lazarova V. et Brissaud F., 2007: Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France ; <http://www.ecoumenegolf.org/XEauXLAZAROVA.pdf>; N° 299 - L'eau, l'industrie, les nuisances
- Luo, T., R. Young, P. Reig, 2015: Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings, Washington, D.C.: World Resources Institute; <http://www.wri.org/publication/aqueduct-projected-water-stress-country-rankings>
- Martins R. and A. Fortunato, 2007: Residential water demand under block rates - a Portuguese case study. *Water Policy* 9, 217–230

- Molle, 2017: *Conflicting Policies: Agricultural Intensification vs. Water Conservation in Morocco*, Institut de Recherche pour le Développement, UMR-G-Eau
- OECD, 2012: Environmental Outlook to 2050: The consequences of Inaction - Key Findings on Water; <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49844953.pdf>
- ONEE-IEA, 2014: Water sector management in Morocco. Pillar of sustainable development; Mahmoud Hafsi - Mediterranean water forum; <https://www.holanda.es/media/72108/m.%20hafsi.pdf>
- ONEMA & BRGM, 2013 : Recharge artificielle des eaux souterraines: État de l'art et perspectives
- ONEP/ABHT, 2010 : Mission I, Inventaires des établissements touristiques [...]
- ORMVAH, 2011 : Office régional de mise en valeur agricole de la région de Haouz - Gestion des réseaux d'irrigation dans les périmètres du Haouz. Document interne.
- Palrecha A., N. Sakhare, S. Patkar, S. Sule, S. Sebas and M. Ramola, 2016: Wastewater Irrigation in Maharashtra, IWMI-Tata Water Policy Program
- PNE, 2015 : Plan Nationale d'Eau, Rapport Général, juillet 2015
- PNUE/UNEP, 2001 : Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : Évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. Plan d'action pour La Méditerranée, UNEP(DEC)/MED - WG.183/Inf.6
- Pope C.A., 1985: « Agricultural productive and consumptive use components of rural land values in Texas », American Journal of Agricultural Economics, 1, pp.81-86
- Qadir, M., B.R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah and F. Karajeh, 2007: Non-conventional Water Resources and Opportunities for Water Augmentation to Achieve Food Security in Water Scarce Countries, Agricultural Water Management 87-1 (2007); <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377406001065>
- Razoki, B., 2001 : Mise en place d'un système de gestion de base de données pour la gestion des ressources en eaux souterraines de la plaine du Haouz (Meseta occidentale, Maroc). Thèse Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc
- Ricardo D., 1951: The Works and Correspondence of David Ricardo: On the Principles of Political Economy and Taxation; Cambridge University Press.
- Salama, Y., Chennaoui, M., Sylla, A., Mountadar, M., Rihani, M., & Assobhei, O., 2014: Review of Wastewater Treatment and Reuse in the Morocco: Aspects and Perspectives. International Journal of Environment and Pollution Research, 2(1), 9-25; <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Review-of-Wastewater-Treatment-and-Reuse-in-the-Morocco-Aspects-and-Perspectives.pdf>
- Satoa T., M. Qadir, S. Yamamotoe, T. Endoe, Ahmad Zahoor, 2013: Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use; Agricultural Water Management 130 (2013) 1–13, Elsevier; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377413002163>
- Schultz, B., 2002: Role of Dams in Irrigation, Drainage and Flood Control. Water Res. Development 18(1)
- Siegel S., 2015: Let there be water – Israel's solution for a water-starved world, ISBN 9781-250-073952
- Sinan M. et al, 2003: Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc, 2<sup>nd</sup> FIG Conférence Régional, 2-5 décembre, Marrakech, Maroc

- Skinner, J. et al, 2009 : Partage des bénéfices issus des grands barrages en Afrique de l'Ouest. Série Ressources Naturelles no. 19. Institut International pour l'Environnement et le Développement
- Statzu and Strazzer, 2009: Water demand for residential uses in a Mediterranean region: Econometric analysis and policy implications
- Todaro, M., 1997: Urbanization, unemployment and migration in Africa: Theory and policy; Policy Research Division Working Paper No. 104, Population Council, New York
- UNDESA, 2015: The 2015 Revision of World Population Prospects, Key findings and Advance Tables [https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
- UNDP, 2006: Human Development Report 2006 - Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis; <http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf>
- UNEP, 2008: Desalination Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments. United Nations Environment Program, Regional Office for West Asia, Manama, and World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Cairo
- UN-Water, 2010: Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water. Available at: [http://www.unwater.org/downloads/unw\\_ccpol\\_web.pdf](http://www.unwater.org/downloads/unw_ccpol_web.pdf)
- UN-WATER, 2013: Water security and the Global Water Agenda – a UN Water Analytical Brief [www.unwater.org/downloads/watersecurity\\_analyticalbrief.pdf](http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf); definition based on UNESCO's International Hydrological Program's (IHP) Strategic Plan of the Eighth Phase.
- UN-Water, 2014: Partnerships for improving water and energy access, efficiency and sustainability; [http://www.un.org/waterforlifedecade/water\\_and\\_energy\\_2014/pdf/water\\_and\\_energy\\_2014\\_final\\_report.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_energy_2014/pdf/water_and_energy_2014_final_report.pdf)
- WHO-UNICEF, 2000: Global Water Supply and Sanitation Assessment, 2000 Report; [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf)
- WHO, 2003: State of the art report on health risks in aquifer recharges using reclaimed water; [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83800/1/WHO\\_SDE\\_WSH\\_03.08.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83800/1/WHO_SDE_WSH_03.08.pdf); No. WHO/SDE/WSH/03.08, Geneva
- WHO, 2006: WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water (Volume IV: Excreta and grey water use in agriculture); <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1004>
- World Bank, 2004, Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia; A Review of Key issues and Experience in Six Countries
- World Bank, 2012: Integrated Urban Water Management Case Study: Buenos Aires. Washington, DC
- World Bank, 2016a: Mainstreaming Water Resources Management in Urban Projects: Taking an Integrated Urban Water Management Approach; World Bank, Washington, DC <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24430>
- World Bank, 2016b: Cost of desalination for domestic water supply in the MENA Region, White Paper
- World Bank, 2016c: Évaluation du coût de la dégradation de l'environnement, Pôle de Compétences Mondiales de l'Environnement, Bureau régional Moyen-Orient et Afrique du Nord, Rapport N° 105633-MA Royaume du Maroc