

# LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE POUR LA GESTION DE L'EAU



WWDR  
2018



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Programme  
mondial pour  
l'évaluation des  
ressources en eau



Objectifs de  
développement  
durable

EAU ET  
ASSAINISSEMENT



Au service  
des peuples  
et des nations

ONU  
environnement



Organisation  
des Nations Unies  
pour l'éducation,  
la science et la culture



Programme  
hydrologique  
international



UNITED NATIONS  
UNIVERSITY

UNU-INWEH  
Institute for Water,  
Environment and Health

# LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE POUR LA GESTION DE L'EAU

Publié en 2018 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07-SP

© UNESCO 2018

Tous droits réservés

Le présent rapport est publié par l'UNESCO pour le compte d'ONU-Eau. La liste des membres et partenaires d'ONU-Eau est disponible à l'adresse suivante : [www.unwater.org](http://www.unwater.org)

ISBN 978-92-3-200147-4



Citation suggérée :

WWAP (Le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau)/ONU-Eau. 2018. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2018 : Les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau*. Paris, UNESCO.

Titre original : *The United Nations World Water Development Report 2018 : Nature-based solutions for water*

Cette publication est disponible en libre accès sous la licence Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) ([creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/)). En utilisant le contenu de la présente publication, les utilisateurs acceptent les conditions d'utilisation de l'Archive en libre accès de l'UNESCO ([www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en)).

La présente licence s'applique exclusivement aux textes contenus dans la publication. L'utilisation de contenus n'étant pas clairement identifiés comme appartenant à l'UNESCO devra faire l'objet d'une demande préalable d'autorisation auprès de l'UNESCO : [publication.copyright@unesco.org](mailto:publication.copyright@unesco.org) ou Éditions UNESCO, 7 place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP France.

Les désignations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation. Les membres et partenaires d'ONU-Eau listés sur les pages de titres des chapitres du présent Rapport ont contribué aux contenus. L'UNESCO et le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau ne sont pas responsables des erreurs présentes dans le Rapport fourni ou des contradictions dans les données et contenus entre les différents chapitres constituant ce Rapport.

Le WWAP a donné l'opportunité à des individus de figurer en tant qu'auteurs ou contributeurs ou d'être mentionnés dans les remerciements de cette publication. Le WWAP n'est pas responsable de toute omission à cet égard.

Couverture originale par Phoenix Design Aid

Imprimé par UNESCO, Paris

Cette publication a été imprimée avec des encres végétales sur du papier FSC Sources Mixtes, la gestion durable des forêts, 100 % recyclé, sans acide ni chlore.



# TABLE DES MATIÈRES

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Avant-propos</b><br>par Audrey Azoulay<br>Directrice générale de l'UNESCO   | <b>iv</b> |
| <b>Avant-propos</b><br>par Gilbert F. Houngbo<br>Président d'ONU-Eau et Président du Fonds international de développement agricole | <b>v</b>  |
| <b>Préface</b><br>par Stefan Uhlenbrook, Coordinateur du WWAP<br>et Richard Connor, Rédacteur en chef                              | <b>vi</b> |
| <b>Remerciements</b>   | <b>ix</b> |
| <b>Résumé</b>  | <b>1</b>  |
| <b>Prologue : L'état des ressources en eau dans le cadre de solutions fondées sur la nature</b>                                    | <b>11</b> |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>Chapitre 1   Solutions fondées sur la nature (SfN) et la gestion de l'eau</b>   | <b>24</b> |
| 1.1 Introduction   | 25        |
| 1.2 Concepts, outils, approches et terminologie compatibles  | 26        |
| 1.3 Comment fonctionnent les SfN ?   | 28        |
| 1.4 Les SfN, objet d'une attention croissante  | 38        |
| 1.5 L'évaluation des SfN dans le contexte de ce rapport  | 41        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre 2   Les SfN pour gérer la disponibilité de l'eau</b>   | <b>42</b> |
| 2.1 Introduction   | 43        |
| 2.2 Études de cas sectorielles et thématiques  | 46        |
| 2.3 L'influence du recyclage de l'humidité sur la disponibilité de l'eau   | 54        |
| 2.4 Les enjeux liés à l'adoption des SfN pour assurer la disponibilité de l'eau  | 54        |
| 2.5 Les SfN, la disponibilité de l'eau et les ODD  | 57        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre 3   Les SfN pour la gestion de la qualité de l'eau</b>   | <b>58</b> |
| 3.1 Les enjeux liés à la qualité de l'eau, écosystèmes et développement durable  | 59        |
| 3.2 Les SfN pour le maintien ou l'amélioration de la qualité de l'eau  | 60        |
| 3.3 Le contrôle de la qualité de l'eau fondé sur la nature – la biosurveillance  | 66        |
| 3.4 Avantages partagés et limites des SfN pour la qualité de l'eau   | 68        |
| 3.5 La possibilité pour les SfN de contribuer aux ODD liés à la qualité de l'eau   | 69        |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre 4   Les SfN pour la gestion des risques, de la variabilité et des changements liés à l'eau</b>                       | <b>72</b> |
| 4.1 Les SfN dans le contexte de la variabilité et des changements de l'eau, et des accords mondiaux sur le développement durable | 73        |
| 4.2 Des SfN pour l'atténuation des risques, de la variabilité et des changements liés à l'eau                                    | 76        |
| 4.3 Les enjeux liés à l'amélioration du potentiel des SfN dans le contexte de la variabilité et de la réduction des risques      | 88        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>Chapitre 5   Expériences nationales et régionales relatives à la mise en œuvre</b>   | <b>92</b>  |
| 5.1 Introduction  | 93         |
| 5.2 Mise en œuvre des SfN à l'échelle du bassin   | 94         |
| 5.3 Mise en œuvre des SfN dans les zones urbaines   | 101        |
| 5.4 Les cadres régionaux et nationaux d'adoption des SfN  | 103        |
| <br>  |            |
| <b>Chapitre 6   Accélérer l'adoption des solutions fondées sur la nature</b>  | <b>110</b> |
| 6.1 Introduction  | 111        |
| 6.2 Mobilisation des financements   | 112        |
| 6.3 Développer un environnement réglementaire et juridique  | 115        |
| 6.4 Renforcer la collaboration intersectorielle et l'harmonisation des politiques   | 116        |
| 6.5 Favoriser une meilleure base de connaissances   | 118        |
| 6.6 Un cadre commun et des critères d'évaluation des options  | 121        |
| <br>  |            |
| <b>Chapitre 7   Réaliser le potentiel des SfN en matière d'eau et de développement durable</b>                                    | <b>122</b> |
| 7.1 Où en sommes-nous ?   | 124        |
| 7.2 Jusqu'où pouvons-nous aller ?   | 124        |
| 7.3 Comment y parvenir ?  | 126        |
| 7.4 Réaliser le Programme de développement durable à l'horizon 2030 à travers les SfN en matière de gestion des ressources en eau | 129        |
| 7.5 Coda  | 130        |
| <br>  |            |
| <b>Références</b>   | <b>134</b> |
| <b>Abréviations et acronymes</b>  | <b>152</b> |
| <b>Encadrés, figures et tableaux</b>  | <b>154</b> |
| <b>Crédits photographiques</b>  | <b>156</b> |

# AVANT-PROPOS

par Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO

Nous avons besoin de nouvelles solutions pour la gestion des ressources en eau afin de contrebalancer les défis émergents relatifs à la sécurité de l'eau que posent la croissance démographique et les changements climatiques. Le présent rapport propose une réponse innovante qui existe en réalité depuis des milliers d'années : des solutions fondées sur la nature.

Aujourd'hui, plus que jamais, nous devons travailler avec la nature, et non contre elle. La demande en eau devrait augmenter dans tous les secteurs. Le défi auquel nous devons tous faire face consiste à répondre à cette demande d'une manière qui n'aggrave pas les impacts négatifs sur les écosystèmes.

L'enjeu est de taille. Les tendances actuelles suggèrent qu'environ deux tiers des forêts et des zones humides ont été détruites ou dégradées depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. Les sols s'érodent et leur qualité diminue. Depuis les années 1990, la pollution de l'eau a empiré dans quasiment tous les fleuves d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

Ces tendances posent des défis de plus grande ampleur en raison du risque accru d'inondations et de sécheresses, qui, à son tour, a un impact sur notre capacité d'adaptation aux changements climatiques. Nous savons également que le manque d'eau peut entraîner des troubles civils, une migration de masse, et même des conflits au sein des pays et entre eux.

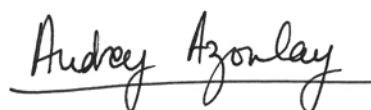
L'objectif 6 du *Programme de développement durable à l'horizon 2030* reconnaît l'importance d'assurer la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement. Les solutions fondées sur la nature sont essentielles à la réalisation de cet objectif.

Leur impact peut s'avérer significatif : depuis les structures de collecte d'eau à petite échelle au Rajasthan, en Inde, qui ont rendu l'eau à nouveau disponible dans mille villages frappés par la sécheresse, jusqu'à la relance des pratiques traditionnelles de gestion des terres appelée « hima » dans le bassin de la rivière Zarqa en Jordanie, qui permettent d'obtenir une eau de source de meilleure qualité en ne surexploitant pas le sol.

Ces solutions peuvent également contribuer à d'autres aspects du développement durable : de la garantie de la sécurité alimentaire et de la réduction des risques de catastrophe à la construction d'établissements urbains durables et à l'encouragement du travail décent. Il est vital d'assurer l'utilisation durable des ressources de la planète afin de garantir la paix et la prospérité à long terme.

Le présent *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau* ne soutient pas que les solutions fondées sur la nature sont une panacée, mais notre conclusion est claire : elles constituent l'un des nombreux outils importants pour passer à une approche plus globale de la gestion de l'eau.

Dans cet esprit, je tiens à remercier le Gouvernement italien et la Région Ombrie pour le soutien apporté au Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO. Coordonné par le WWAP avec l'aide du Programme hydrologique international, le présent rapport est le fruit de la coopération continue des membres et des partenaires d'ONU-Eau. Je tiens à remercier toutes les personnes impliquées pour leur contribution et leur engagement à promouvoir une sécurité durable de l'eau, qui concilie les besoins humains et l'avenir de notre planète.



Audrey Azoulay

# AVANT-PROPOS

par Gilbert F. Houngbo, Président d'ONU-Eau et Président du Fonds international de développement agricole

Plus de 2 millions de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et plus du double n'ont pas accès à des conditions d'hygiène sûres. Compte tenu de la croissance rapide de la population mondiale, la demande en eau devrait augmenter de près d'un tiers d'ici 2050. Face à la consommation accélérée, à l'accentuation de la dégradation de l'environnement et aux différentes formes des conséquences du changement climatique, il est évident que nous avons besoin de nouvelles manières de gérer la demande concurrentielle concernant nos précieuses ressources en eau douce.

L'édition 2018 du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR 2018) suggère que des solutions sont plus proches que nous le pensions.

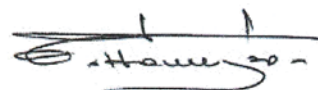
Depuis sa première édition, en 2003, le WWDR a présenté la perspective globale du système des Nations Unies en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Chaque Rapport harmonise les connaissances et les contenus scientifiques les plus récents avec des messages politiques équilibrés. Le Rapport de cette année, qui marque les 15 ans de l'existence formelle d'ONU-Eau, se penche sur le passé tout en regardant vers l'avenir.

Pendant trop longtemps, le monde s'est tourné en priorité vers les infrastructures construites par l'homme, qualifiées de « grises », afin d'améliorer la gestion de l'eau. Ce faisant, les connaissances traditionnelles et autochtones qui adoptent une approche plus verte ont souvent été mises de côté. Trois ans après le lancement du Programme de développement durable à l'horizon 2030, il est temps pour nous de reconsidérer les solutions fondées sur la nature (SfN) de manière à contribuer à la réalisation des objectifs relatifs à l'eau.

Le WWDR 2018 montre que le fait de travailler avec la nature, et non contre elle, améliorerait le capital naturel et soutiendrait une économie circulaire utilisant les ressources de manière efficace et compétitive. Les SfN peuvent à la fois s'avérer rentables et fournir des avantages sur le plan environnemental, social et économique. Ces avantages entremêlés, qui constituent l'essence du développement durable, sont essentiels à la réalisation du Programme 2030.

Cette publication phare constitue la contribution la plus importante d'ONU-Eau à la campagne « La nature pour l'eau », qui débutera le 22 mars 2018, lors de la Journée mondiale de l'eau. En tant que nouveau Président d'ONU-Eau, je tiens à remercier mes collègues pour leurs contributions inestimables. Je suis également reconnaissant envers l'UNESCO et son Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau pour leur rôle déterminant dans sa production.

J'ai bon espoir que ce Rapport inspirera des discussions et conduira à des mesures pertinentes à tous les niveaux afin de se tourner vers une gestion plus durable des ressources en eau.



Gilbert F. Houngbo



# PRÉFACE

par Stefan Uhlenbrook, Coordinateur du WWAP  
et Richard Connor, Rédacteur en chef

La nécessité de veiller à la mise à disposition de volumes adaptés d'eau de bonne qualité afin de soutenir et de préserver des écosystèmes sains est établie depuis longtemps. Mais la nature joue également un rôle unique et fondamental dans la régulation des différentes fonctions du cycle de l'eau, au sein duquel elle peut agir comme *régulateur*, *nettoyeur* ou *fournisseur* d'eau. De ce fait, la préservation d'écosystèmes sains entraîne directement une meilleure sécurité hydrique pour tous.

Étant la cinquième d'une série de rapports annuels thématique, l'édition 2018 du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) met l'accent sur les opportunités d'exploiter les processus naturels qui régissent différents éléments du cycle de l'eau, qui sont devenus connus collectivement sous le nom de *solutions fondées sur la nature* (SfN) pour l'eau. Il ne s'agit pas simplement d'une « bonne idée » (ce qui est évidemment le cas), mais d'une étape essentielle afin de garantir la durabilité à long terme des ressources en eau et de la multitude d'avantages que procure l'eau, de la sécurité alimentaire et énergétique à la santé humaine et au développement socioéconomique durable.

Il existe plusieurs types différents de SfN pour la gestion de l'eau, qui vont des applications micro ou personnelles (par exemple des toilettes sèches) aux applications paysagères qui comprennent l'agriculture de conservation. Certaines SfN conviennent aux milieux urbains (par exemple les murs végétaux, jardins de toiture et bassins d'infiltration ou de drainage végétalisés) ainsi qu'aux milieux ruraux, lesquels constituent souvent la majorité de la superficie d'un bassin hydrographique.

Cependant, malgré les récents progrès dans l'adoption des SfN, la gestion des ressources en eau reste fortement dépendante des infrastructures construites par l'homme (« grises »). L'idée n'est pas nécessairement de remplacer l'infrastructure grise par l'infrastructure verte, mais d'identifier l'équilibre le plus approprié, rentable et durable entre l'infrastructure grise et les SfN en tenant compte de multiples objectifs et avantages.

Afin de maximiser le potentiel de la nature en contribuant à la réalisation des trois principaux objectifs de gestion de l'eau – accroître la disponibilité de l'eau, améliorer la qualité de l'eau et réduire les risques liés à l'eau – il sera nécessaire de créer un environnement propice au changement, notamment des cadres juridiques et réglementaires adaptés, des mécanismes de financement appropriés et l'acceptation sociale. Nous restons persuadés qu'avec la volonté politique de le faire, les obstacles actuels comme le manque de connaissances, de capacités, de données et d'informations sur les SfN pour l'eau, peuvent être surmontés de manière efficace.

Comme le souligne ce rapport, un certain nombre de mécanismes peuvent être utilisés dans le but d'accélérer l'adoption des SfN pour l'eau. Le paiement des services écosystémiques et d'obligations vertes génère des retours sur investissement intéressants tout en réduisant le besoin (et les coûts) d'infrastructures plus importantes et souvent plus coûteuses nécessaires à la gestion des ressources en eau et à la fourniture de services d'approvisionnement en eau et d'assainissement.

Les SfN pour l'eau sont indispensables à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030, car elles génèrent des avantages sociaux, économiques et environnementaux partagés, y compris la santé humaine et les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et énergétique, la croissance économique durable, des emplois décents, la réhabilitation et l'entretien des écosystèmes, et la biodiversité. La valeur considérable de ces avantages partagés peut influencer les décisions d'investissement en faveur des SfN.

La mise en œuvre des SfN implique la participation de nombreux groupes de parties prenantes différents, ce qui encourage par conséquent la formation de consensus et aide à sensibiliser le public aux apports réels potentiels des SfN en matière d'amélioration de la sécurité hydrique. Nous nous sommes efforcés de produire un compte rendu équilibré, factuel et neutre de l'état actuel des connaissances, en incluant les développements les plus récents en matière de SfN pour la gestion de l'eau, ainsi que les différents avantages et opportunités qu'elles offrent en ce qui concerne l'amélioration de la gestion durable des ressources en eau. Bien que le présent rapport soit destiné principalement aux décideurs et aux gestionnaires des ressources en eau à l'échelle nationale, nous espérons qu'il intéressera également l'ensemble de la communauté du développement, les chercheurs, les professionnels et toute personne intéressée par la construction d'un futur de l'eau qui soit équitable et durable pour tous grâce aux SfN.

Cette dernière édition du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau est le résultat d'un effort concerté entre les agences responsables des chapitres FAO, PNUD, ONU Environnement, UNESCO-PHI, UNU-INWEH et WWAP, avec des documents complémentaires fournis sur les perspectives régionales par la CEE, la CEPALC, la CESAP, la CESA0 et le Bureau régional multisectoriel de l'UNESCO à Abuja. Le rapport a également bénéficié des apports et contributions de plusieurs membres et partenaires d'ONU-Eau, de membres du Comité consultatif technique du WWAP, ainsi que de dizaines de scientifiques, de professionnels et d'ONG qui ont fourni un large éventail de données et d'informations pertinentes.

Au nom du secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, nous exprimons nos sincères remerciements aux organismes mentionnés ci-dessus, aux membres et partenaires d'ONU-Eau, ainsi qu'aux rédacteurs et autres personnes ayant contribué à la production collective de ce rapport unique et digne de foi qui, nous l'espérons, aura de multiples effets positifs à travers le monde. David Coates mérite une reconnaissance particulière pour avoir généreusement partagé ses connaissances et sa sagesse tout au long du processus de production du rapport.

Nous profonds gratitude va à l'endroit du Gouvernement italien qui finance la Regione Umbria qui héberge le Secrétariat du WWAP à Villa La Colombella, à Pérouse. Leurs contributions ont été déterminantes dans la production du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau.

Nous remercions particulièrement Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO, pour son soutien essentiel au Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau et à la production du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. Les conseils de Gilbert F. Hounbo, Président du Fonds international de développement agricole (FIDA), en sa qualité de Président d'ONU-Eau, ont rendu cette publication possible.

Enfin et surtout, nous exprimons notre profonde gratitude à tous nos collègues du Secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, dont les noms sont énumérés dans les remerciements. Le rapport n'aurait pas pu être terminé sans leur professionnalisme et leur dévouement.



Stefan Uhlenbrook



Richard Connor

# ÉQUIPE DE PRODUCTION DU WWDR 2018

**Directeur de la Publication**

Stefan Uhlenbrook

**Rédacteur en chef**

Richard Connor

**Coordinateur du processus**

Engin Koncagül

**Assistante de publications**

Valentina Abete

**Graphiste**

Marco Tonsini

**Comité technique consultatif du WWAP**

Uri Shamir (président), Dipak Gyawali (vice-président), Fatma Abdel Rahman Attia, Anders Berntell, Elias Fereres, Mukuteswara Gopalakrishnan, Daniel P. Loucks, Henk van Schaik, Yui Liong Shie, László Somlyódy, Lucio Ubertini et Albert Wright

**Secrétariat du Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) en 2018**

*Coordinateur* : Stefan Uhlenbrook

*Coordinatrice adjointe* : Michela Miletto

*Programmes*: Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül et Lucilla Minelli

*Publications*: Valentina Abete and Marco Tonsini

*Communications* : Simona Gallese et Laurens Thuy

*Administration* : Barbara Bracaglia, Arturo Frascani et Lisa Gastaldin

*Informatique et sécurité* : Fabio Bianchi, Michele Brensacchi et Francesco Gioffredi

# REMERCIEMENTS

Le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) remercie la FAO, le PNUD, l'ONU-Environnement, le PHI de l'UNESCO et l'UNU-INWEH, dont les précieuses contributions en tant que chefs de file des chapitres ont permis d'élaborer le contenu du présent rapport. Nous remercions sincèrement les commissions économiques régionales (CEE, CEPALC, CESAP, CESA0) et le Bureau régional multisectoriel de l'UNESCO à Abuja pour leur contribution au chapitre 5 sur les expériences nationales et régionales. Nous tenons également à remercier les membres et partenaires d'ONU-Eau ainsi que toutes les autres organisations et personnes qui ont fourni des contributions et des commentaires utiles tout au long du processus de production. En outre, le WWDR 2018 a bénéficié des examens du Comité consultatif technique du WWAP.

Le WWAP est reconnaissant envers le Gouvernement italien pour sa généreuse contribution financière, qui permet le fonctionnement du Secrétariat du WWAP et la production de la série WWDR, et pour les installations mises à sa disposition par la Région Ombrie.

La traduction espagnole du Rapport a été rendu possible avec le concours de l'Association nationale des services d'eau et d'hygiène du Mexique (ANEAS) et de ses membres.

Nous tenons à remercier les bureaux hors siège de l'UNESCO à Almaty, Beijing, Brasilia, Le Caire et New Delhi pour la traduction du résumé du WWDR 2018 en russe, en chinois, en portugais, en arabe et en hindi. Grâce à la précieuse collaboration entre l'Agence nationale de l'eau (ANA) et le Bureau de l'UNESCO au Brésil, la langue portugaise a été incluse dans la série de traductions.

# RÉSUMÉ



Une zone humide dans le sud de la baie de San Francisco (États-Unis)



Les solutions fondées sur la nature (SfN) pour la gestion de l'eau sont inspirées par et s'appuient sur la nature et utilisent, ou imitent, des processus naturels pour améliorer la gestion de l'eau. Une SfN pourrait par exemple viser la conservation ou la remise en état des écosystèmes naturels et/ou l'amélioration ou la réalisation de processus naturels dans les écosystèmes modifiés ou artificiels. Elles peuvent être appliquées à l'échelle micro (par exemple des toilettes sèches) ou macro (par exemple un paysage).

L'intérêt pour les SfN a considérablement augmenté ces dernières années. Ceci a été démontré par l'intégration des SfN dans un large éventail d'avancées politiques, notamment dans les domaines des ressources en eau, de la sécurité alimentaire et agricole, de la biodiversité, de l'environnement, de la réduction des risques de catastrophes, des établissements urbains et du changement climatique. Cette évolution positive est une illustration de la convergence croissante des intérêts sur le besoin de reconnaître des objectifs communs et d'identifier un ensemble d'actions se renforçant mutuellement, comme l'illustre bien le Programme de développement durable à l'horizon 2030, qui reconnaît officiellement l'interdépendance des différents Objectifs et Cibles.

Le recours aux SfN à une plus grande échelle constituera un élément essentiel pour réaliser le Programme de développement durable à l'horizon 2030. La sécurité hydrique ne sera pas atteinte par le scénario du maintien du statu quo. Les SfN vont à l'encontre de la nature, pas contre la nature, et constituent un moyen indispensable pour aller plus loin que les scénarios du maintien du statu quo, afin d'augmenter les gains en efficacité sociale, économique et hydrologique en matière de gestion des ressources en eau. Les SfN sont particulièrement prometteuses dans le domaine de la réalisation de progrès vers une production alimentaire durable, l'amélioration des établissements humains, l'accès aux services d'eau potable et d'assainissement, et la réduction des risques liés à l'eau en cas de catastrophe. Elles peuvent également aider à faire face aux effets du changement climatique sur les ressources en eau.

Les SfN soutiennent une économie circulaire qui est, par nature, réparatrice et régénératrice, et entendent promouvoir une plus grande productivité des ressources dans le but de réduire la production de déchets et la pollution, grâce à la réutilisation et le recyclage. Les SfN approuvent le concept de la croissance verte ou l'économie verte, qui préconise une exploitation durable des ressources naturelles et l'utilisation de processus naturels pour soutenir nos économies. Le recours aux SfN pour la gestion de l'eau produit également des avantages partagés dans le domaine social, économique et environnemental, notamment dans les domaines de l'amélioration de la santé humaine et les moyens de subsistance, de la croissance économique durable, des emplois décents, de la réhabilitation des écosystèmes et le maintien et la protection de la biodiversité. La valeur de certains de ces avantages partagés peut être substantielle pour faire pencher la balance en faveur des SfN dans les décisions d'investissement.

Cependant, malgré une longue histoire et la multiplication des expériences dans la mise en œuvre des SfN, il y a encore beaucoup de cas où la politique et la gestion des ressources en l'eau ignorent les possibilités offertes par les SfN – même si celles-ci sont évidentes et que leur efficacité a été prouvée. Par exemple, malgré la croissance rapide des investissements dans les SfN, les données disponibles suggèrent qu'ils représentent bien moins de 1 % de l'investissement total dans l'infrastructure de la gestion des ressources en eau.

## Les ressources mondiales en eau : demande, disponibilité, qualité et phénomènes extrêmes

La demande mondiale en eau a augmenté d'environ 1 % par an en fonction de la croissance démographique, le développement économique et l'évolution des modes de consommation, entre autres facteurs, et elle continuera à croître considérablement au cours des deux prochaines décennies. La demande industrielle et domestique en eau augmentera plus rapidement que la demande agricole, bien que l'agriculture reste le plus grand consommateur global. La grande majorité de la demande croissante en eau se produira dans les pays en développement ou émergents.

Parallèlement, le cycle de l'eau s'intensifiera en raison du changement climatique, les régions les plus humides devenant généralement plus humides et les régions sèches encore plus sèches. Environ 3,6 milliards de personnes dans le monde (près de la moitié de la population mondiale) vivent déjà dans des zones potentielles de pénurie d'eau au moins un mois par an, et ce chiffre pourrait atteindre 4,8 milliards à 5,7 milliards en 2050.

Depuis les années 1990, la pollution de l'eau a empiré dans quasiment toutes les rivières d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie. La détérioration de la qualité de l'eau devrait s'aggraver au cours des prochaines décennies et cela va augmenter les menaces pour la santé humaine, l'environnement et le développement durable. À l'échelle mondiale, le défi le plus important pour la qualité de l'eau est celui de la charge des nutriments dans l'eau qui, selon les régions, est souvent associée à la charge en agents pathogènes. L'utilisation de centaines de produits chimiques a également une incidence sur la qualité de l'eau. Les augmentations les plus marquées à l'exposition aux polluants devraient se produire dans les pays à faible ou moyen niveaux de revenus, principalement en raison de leur population plus élevée, de leur croissance économique et du manque de systèmes de gestion des eaux usées.

Les tendances en matière de disponibilité et de qualité de l'eau s'accompagnent de changements projetés dans le domaine des risques des risques d'inondation et de sécheresse. Le nombre de personnes exposées aux inondations devrait passer de 1,2 milliard à 1,6 milliard (presque 20 % de la population mondiale). La population actuellement touchée par la dégradation des sols, la désertification et la sécheresse est estimée à 1,8 milliard de personnes, ce qui en fait la catégorie la plus importante des « catastrophes naturelles » en fonction de la mortalité et de l'impact socioéconomique par rapport au PIB par habitant.

## La dégradation des écosystèmes

La dégradation des écosystèmes est la cause principale des enjeux croissants de la gestion des ressources en eau. Alors que les forêts occupent environ 30 % de la superficie mondiale des terres, au moins les deux tiers d'entre elles sont dans un état dégradé. La majorité des ressources terrestres, notamment les terres agricoles, sont dans un état jugé passable, ou dans un mauvais ou très mauvais état, et la situation devrait empirer selon les perspectives actuelles, avec des conséquences négatives graves sur le cycle de l'eau à cause des taux d'évaporation plus élevés, de la diminution du stockage des eaux souterraines et d'un ruissellement accru, accompagnée d'une érosion accrue. Depuis l'année 1900, environ 64 % à 71 % des terres humides naturelles ont été perdues à cause de l'activité humaine. Tous ces changements ont eu des impacts négatifs majeurs sur l'hydrologie, que ce soit à l'échelle locale, régionale ou mondiale.

Des preuves existent, à travers l'histoire, que ces changements dans les écosystèmes ont joué un rôle dans la disparition de plusieurs civilisations anciennes. Une question pertinente aujourd'hui est celle de savoir si nous pouvons nous prémunir du même sort. La réponse à cette question dépendra, en partie du moins, de notre capacité de changer et d'agir pour, au lieu de contre, la nature, – par le biais, par exemple, d'une meilleure utilisation des SfN.

## Le rôle des écosystèmes dans le cycle hydrologique

Dans un paysage, les processus écologiques influent sur la qualité de l'eau et la façon dont elle passe par un système, tout comme la formation des sols, l'érosion, ainsi que le transport et le dépôt des sédiments – tous ces éléments pouvant exercer d'importantes influences sur l'hydrologie. Bien que les forêts reçoivent souvent la plus grande attention en ce qui concerne la couverture terrestre et l'hydrologie, les prairies et les terres cultivées jouent également des rôles importants. Les sols jouent un rôle critique quant au contrôle du mouvement, du stockage et de la transformation de l'eau. La biodiversité a un rôle fonctionnel dans les SfN selon lequel elle soutient les processus et les fonctions écosystémiques et, par conséquent, la fourniture de services écosystémiques.

Les écosystèmes apportent d'importantes contributions au recyclage des précipitations à l'échelle locale et continentale.). Plutôt que d'être considérée comme une « consommatrice » d'eau, la végétation devrait plutôt être perçue comme une « recycleuse » d'eau. À l'échelle mondiale, jusqu'à 40 % des précipitations terrestres viennent de l'évaporation des plantes au vent et d'autres processus d'évaporation du sol, cette dernière représentant plus de la moitié des précipitations dans certaines régions. Les décisions sur l'utilisation des sols dans un endroit pourraient entraîner des conséquences importantes sur les ressources en eau, les populations, l'économie et l'environnement dans d'autres endroits plus éloignés, soulignant ainsi les limites du mode de gestion basé sur les bassins hydrographiques contrairement au mode basé sur un « bassin à précipitations ».

Les *infrastructures vertes* (pour l'eau) ont recours à des systèmes naturels ou semi-naturels telles que les SfN pour fournir des systèmes de gestion de ressources en eau qui sont dotées de bénéfiques équivalents ou semblables aux infrastructures grises traditionnelles (artificiels ou physiques). Dans certaines situations, la méthode des solutions fondées sur la nature sont la principale ou la seule solution viable (par exemple la restauration du paysage pour remédier à la dégradation des terres et la désertification), alors que pour des raisons différentes une solution grise fonctionnera (par exemple la fourniture en eau d'un ménage à travers les tuyaux et les robinets). Dans la plupart des cas, cependant, l'infrastructure verte et grise pourraient et devraient collaborer. L'amélioration des performances de l'infrastructure grise est un des meilleurs exemples du déploiement des SfN. La situation actuelle, caractérisée par des infrastructures grises vieillissantes, inappropriées ou insuffisantes à l'échelle mondiale, crée des opportunités pour les SfN comme des solutions innovantes qui intègrent les perspectives des services écosystémiques, une résilience améliorée et des considérations de subsistance en matière de planification et de gestion de l'eau.

L'une des principales caractéristiques des SfN est qu'elles ont tendance à fournir des groupes de services écosystémiques conjointement – même lorsqu'un l'intervention prévue a pour objectif un service unique. Par conséquent, les SfN présentent de nombreux avantages liés à l'eau et permettent souvent à résoudre simultanément les questions telles que la quantité, la qualité et les risques liés à l'eau. Un autre avantage clé des SfN réside dans leur capacité à contribuer à la construction d'une résilience générale du système.

## Les SfN pour gérer la disponibilité des ressources en eau

Les SfN appuient principalement l'approvisionnement en eau à travers la gestion des précipitations, de l'humidité, du stockage de l'eau, de l'infiltration et de la transmission afin que des améliorations soient apportées dans le lieu, la synchronisation et la quantité de l'eau disponible pour les besoins humains.

L'option de construire davantage de réservoirs est de plus en plus limitée par l'ensablement, la diminution du ruissellement disponible, les préoccupations et les restrictions environnementales, et le fait que dans de nombreux pays développés, les sites les plus rentables et viables ont déjà été utilisés. Dans de nombreux cas, des formes plus respectueuses d'écosystèmes pour le stockage de l'eau, telles que les milieux humides naturels, l'amélioration de l'humidité des sols et la recharge plus efficace des eaux souterraines, pourraient être plus durables et plus économiques que les infrastructures grises traditionnelles, telles que les barrages.

L'agriculture devra faire face à l'augmentation croissante de la demande en produits alimentaires en améliorant l'efficacité de l'utilisation des ressources tout en réduisant son empreinte externe, et l'eau est au cœur de ce besoin. L'"intensification écologique durable" de la production alimentaire, est la pierre angulaire des solutions reconnues, car elle améliore les services écosystémiques dans les paysages agricoles, par exemple par l'amélioration de la gestion des sols et de la végétation. L'"agriculture de conservation", qui a recours à des pratiques qui visent à réduire au minimum la perturbation des sols, de maintenir la couverture du sol et de régulariser la rotation des cultures, est un exemple phare de l'intensification durable de la production. Les systèmes agricoles qui réhabilitent ou préservent les services écosystémiques peuvent être tout aussi productifs que des systèmes intensifs à forte teneur en intrants, mais avec beaucoup moins d'externalités. Bien que les SfN offrent des gains appréciables pour l'irrigation, les principales possibilités pour augmenter la productivité sont offertes par les systèmes pluviaux qui représentent l'essentiel de la production actuelle et de l'agriculture familiale (et par conséquent fournissent les meilleurs avantages pour les moyens d'existence et la réduction de la pauvreté). Les gains théoriques en eau qui pourraient être



réalisables à l'échelle mondiale dépassent les augmentations prévues de la demande mondiale, entraînant la réduction des conflits entre les utilisations concurrentes.

L'utilisation des SfN pour répondre aux problèmes de la disponibilité en eau dans les agglomérations urbaines revêt également une grande importance, étant donné que la majorité de la population mondiale vit dans les villes. Des infrastructures urbaines vertes, y compris les bâtiments durables, sont un phénomène émergent qui est à l'origine des nouveaux critères et normes techniques qui englobent de nombreuses SfN. Les activités des entreprises commerciales et l'industrie mettent de plus en plus l'accent sur la promotion des SfN pour améliorer la sécurité hydrique, motivées par une analyse de rentabilisation convaincante.

## Les SfN pour gérer la qualité de l'eau

La protection des sources d'eau réduit les coûts de leur traitement pour les fournisseurs urbains et contribue à améliorer l'accès à l'eau potable dans les collectivités rurales. Les forêts, les zones humides et les prairies, ainsi que les sols et les cultures, lorsqu'elles sont correctement gérées, jouent un rôle important dans la régulation de la qualité de l'eau car elles réduisent les charges des sédiments, capturent et retiennent les polluants et recyclent les éléments nutritifs. Lorsque l'eau est polluée, les écosystèmes naturels et artificiels pourraient contribuer à améliorer la qualité de l'eau.

La pollution de source non ponctuelle (diffuse) provenant de l'agriculture, notamment des nutriments, reste de loin le problème majeur dans le monde entier, y compris dans les pays développés. Cependant, elle reste également la plus favorable aux SfN, étant donné qu'elles sont susceptibles de pouvoir remettre en état les services écosystémiques qui permettent aux sols d'améliorer la gestion des nutriments et donc d'abaisser la demande d'engrais et de réduire le ruissellement et/ou l'infiltration des substances nutritives dans les eaux souterraines.

Les infrastructures vertes urbaines sont de plus en plus utilisées pour gérer et réduire la pollution par les eaux de ruissellement urbain. L'intérêt va rapidement grandissant en ce qui concerne l'intégration des infrastructures vertes dans la planification et la conception urbaines afin de gérer et de réduire la pollution due au ruissellement urbain. Citons les murs végétalisés, les jardins en terrasse et l'infiltration végétalisée ou les bassins de drainage pour appuyer le traitement des eaux usées et réduire le ruissellement des eaux pluviales. Les zones humides sont également utilisées dans des environnements urbains pour atténuer l'impact des eaux de ruissellement et des eaux usées polluées. Les zones humides naturels et artificiels biodégradent ou enferment toute une gamme de polluants émergents, y compris certains produits pharmaceutiques, et fonctionnent mieux que les solutions grises. Pour certains produits chimiques, elles pourraient être la seule solution.

Le recours aux SfN n'est pas sans limites. Par exemple,

les possibilités des SfN pour le traitement des eaux usées industrielles varient en fonction du type de polluant et de son chargement. Les solutions apportées par les infrastructures grises peuvent encore s'avérer nécessaire pour de nombreuses sources d'eau polluées. Toutefois, les applications industrielles des SfN, tout particulièrement les zones humides artificielles pour le traitement des eaux usées industrielles, sont en plein essor.

Les risques et les catastrophes liés à l'eau, tels que les inondations et les sécheresses associées à une augmentation de la variabilité temporelle des ressources en eau en raison du changement climatique, entraînent des pertes humaines et économiques immenses et croissantes dans le monde. On estime qu'environ 30 % de la population mondiale réside dans des zones et des régions qui sont susceptibles d'être régulièrement touchées par des vagues d'inondations et de sécheresses. La dégradation des écosystèmes est la principale cause de l'augmentation des risques et des phénomènes extrêmes liés à l'eau, et elle réduit la capacité de réaliser pleinement le potentiel des SfN.

## Les SfN pour gérer les risques liés à l'eau

L'infrastructure verte a la capacité de réduire d'une façon significative les risques. Une combinaison des approches de l'infrastructure verte et grise, pourrait engendrer des économies et réduire considérablement les risques.

Les SfN utilisées dans le domaine de la gestion des inondations pourraient induire la rétention d'eau par la gestion de l'infiltration, le ruissellement, et par conséquent la connectivité hydrologique entre les composants de systèmes et le transport de l'eau à travers eux, offrant de l'espace pour le stockage de l'eau par le biais, par exemple, de plaines inondables. La notion de 'vivre avec les inondations', qui, entre autres, comprend un éventail d'approches structurelles et non structurelles qui aident à se 'préparer' à une inondation, pourraient faciliter la mise en œuvre des SfN pertinentes pour réduire les pertes dues aux inondations et, surtout, les risques d'inondation.

Les sécheresses sont parfois décrites comme étant confinées aux régions sèches, mais elles peuvent aussi poser un risque de catastrophe dans les régions qui, normalement, ne souffrent pas d'une pénurie d'eau. La combinaison de plusieurs SfN pour atténuer les effets des sécheresses est dans l'essentiel identique à celle utilisée pour gérer la disponibilité en eau, et vise à améliorer la capacité de stockage de l'eau dans les paysages, y compris les sols et les eaux souterraines, pour amortir les chocs de périodes de pénurie extrême. La variabilité saisonnière des précipitations offre des possibilités pour le stockage de l'eau dans les paysages afin de fournir de l'eau pour les écosystèmes et la consommation humaine pendant des périodes plus sèches. Le potentiel du stockage de l'eau naturelle (en particulier souterraine, dans les aquifères) pour la réduction des risques est loin d'être réalisé. La planification du stockage à l'échelle du bassin fluvial et régionale devrait envisager

un portefeuille de stockage à la surface et souterrain (et leurs combinaisons) pour obtenir les meilleurs résultats environnementaux et économiques à la lumière de l'augmentation de la variabilité des ressources en eau.

## Les SfN pour renforcer l'approvisionnement aux fins de la sécurité hydrique : comment multiplier les avantages

Les SfN sont capables de renforcer la sécurité globale de l'eau en augmentant la disponibilité et la qualité de l'eau tout en réduisant les risques liés à l'eau et en produisant des avantages partagés supplémentaires au niveau social, économique et environnemental. Ils permettent l'identification de solutions où tout le monde y trouve son compte dans tous les secteurs. Par exemple, les SfN dans l'agriculture sont appelées à se généraliser parce qu'elles offrent une productivité et une rentabilité durable meilleure mais elles améliorent également les avantages systémiques, tels qu'une disponibilité en eau accrue et la réduction de la pollution en aval. La protection et la restauration des bassins hydrologiques ont pris de l'ampleur dans le contexte des défis multiples dans le maintien de l'approvisionnement en eau dans des villes en croissance rapide et la réduction des risques liés à l'eau. Les infrastructures urbaines vertes peuvent générer des résultats positifs en termes de la disponibilité en eau, la qualité de l'eau et la réduction des inondations et des sécheresses. En ce qui concerne l'eau et l'assainissement, les zones humides artificielles pour le traitement des eaux usées peuvent être une SfN rentable qui fournit un effluent de qualité acceptable pour plusieurs utilisations non potables, y compris l'irrigation, et peuvent également offrir des avantages supplémentaires, tel que la production d'énergie.

## Les enjeux et les limites

Les défis auxquels sont confrontés les SfN pour qu'ils atteignent leur plein et important potentiel sont quelque peu génériques dans tous les secteurs concernés ainsi qu'à l'échelle mondiale, régionale ou locale. Il existe une inertie historique à l'encontre des SfN en raison de la position dominante des solutions des infrastructures grises dans les instruments actuels des États Membres – qu'il s'agisse de mesures de politique publique ou de codes et règlements en matière de construction. On peut également retrouver cette prédominance au niveau du génie civil, des instruments économiques axés sur le marché, de l'expertise des fournisseurs de services et par conséquent, dans l'esprit des décideurs et du grand public. Ces facteurs et d'autres ont pour conséquence qu'on considère, collectivement, les SfN comme moins efficaces ou plus risqués, que les systèmes artificiels (gris).

Les SfN nécessitent souvent la coopération entre plusieurs institutions et parties prenantes, ce qui peut être difficile à réaliser. Les arrangements institutionnels actuels n'ont pas évolué dans l'optique d'une coopération au niveau des SfN. Il y a un manque de sensibilisation, de communication et de connaissance à tous les niveaux, des communautés aux planificateurs régionaux et aux décideurs politiques nationaux, de ce que les SfN peuvent vraiment offrir. Cet état de fait peut être amplifié par un manque de compréhension de la façon d'intégrer l'infrastructure verte et grise à l'échelle et un manque général de moyens pour mettre en œuvre les SfN dans le contexte de l'eau. Des mythes et/ou des incertitudes demeurent quant au fonctionnement de l'infrastructure naturelle ou verte, et de ce que les services écosystémiques signifient en termes pratiques. Il n'est parfois pas tout à fait clair à identifier ce que constitue une SfN. Il y a une absence d'orientation technique, et un manque d'outils et une carence dans les approches pour identifier la bonne combinaison des SfN et de l'infrastructure grise. Les fonctions hydrologiques des écosystèmes naturels, telles que les zones humides et les plaines inondables, sont beaucoup moins comprises que celles fournies par l'infrastructure grise. Par conséquent, les SfN sont encore trop souvent négligées lors de l'évaluation des politiques et dans la planification et la gestion des ressources naturelles et du développement. Cet état de fait est en partie le résultat d'une insuffisance de la recherche - et développement dans les SfN et surtout en raison du manque d'une évaluation impartiale et substantielle de l'expérience actuelle des SfN, particulièrement en ce qui concerne leur performance hydrologique, l'analyse de la rentabilité dans les comparaisons ou conjointement avec des solutions grises.

Il y a des limites à ce que les écosystèmes peuvent accomplir, et celles-ci doivent être mieux identifiées. Par exemple, des 'points charnières', au-delà desquels les changements négatifs dans les écosystèmes deviennent irréversibles, ont été l'objet d'études théoriques mais rarement quantifiés. Il est donc nécessaire d'accepter les capacités limitées des écosystèmes et d'identifier les seuils à partir desquels des contraintes supplémentaires (par exemple l'ajout des contaminants et des substances toxiques) conduiraient à des dommages irréversibles à un écosystème.

Le degré élevé de variation dans les effets des écosystèmes sur d'hydrologie (le type ou le sous-type, l'emplacement et l'état, le climat et la gestion de l'écosystème) appelle à la prudence afin d'éviter des hypothèses généralisées sur les SfN. Par exemple, les arbres peuvent augmenter ou diminuer la réalimentation des nappes souterraines selon leur type, densité, emplacement, taille et âge. Les systèmes naturels sont dynamiques et leurs rôles et leurs effets changent avec le temps.

Une affirmation souvent exagérée est de qualifier les SfN comme étant 'rentables', alors que cela devrait être établi lors d'une évaluation, y compris l'examen des avantages partagés. Alors que certaines utilisations de SfN à petite échelle peuvent être d'un coût réduit ou sans coût,

d'autres, en particulier à l'échelle, peuvent exiger des investissements importants. Les frais de restauration des écosystèmes, par exemple, peuvent varier de quelques centaines à plusieurs millions de dollars américains par hectare. Des connaissances spécifiques sur le déploiement des SfN sur le terrain sont essentielles mais encore souvent insuffisantes. Maintenant qu'a augmenté l'intérêt pour les SfN, les spécialistes dans les SfN doivent s'atteler à améliorer les connaissances en la matière pour faciliter les processus décisionnels et éviter de surestimer les performances des SfN afin de prévenir que ces nouvelles possibilités soient gâchées.

## Les réponses – La création des conditions en faveur des SfN

Les mesures visant à relever ces défis doivent être axées sur le développement des conditions favorables afin que les SfN soient prises en compte au même titre que les autres solutions pour la gestion des ressources en eau.

### *Des actions visant à stimuler le financement des SfN*

Les SfN n'exigent pas obligatoirement des ressources financières supplémentaires mais elles reposent plutôt sur une réorientation et une utilisation plus efficace des ressources disponibles. Les investissements dans les infrastructures vertes résultent d'une prise de conscience croissante de la capacité des services écosystémiques à fournir des solutions pour l'ensemble du système qui, avec le temps, peuvent rendre les investissements plus durables et plus rentables. Or, l'évaluation du rendement des investissements dans les SfN ne tiennent souvent pas compte des externalités positives, comme c'est le cas également pour les investissements dans l'infrastructure grise qui ne tiennent souvent pas compte des externalités environnementales et sociales négatives.

Les régimes de paiement des services écosystémiques (PSE) offrent des mesures incitatives, aussi bien monétaires que non monétaires, aux communautés, aux agriculteurs et aux propriétaires terriens en amont pour la protection, la restauration et la conservation des écosystèmes naturels, et prévoient l'utilisation de pratiques durables d'exploitation agricole et des terres. Ces mesures engendrent des avantages pour les utilisateurs d'eau en aval grâce à, entre autres, la réglementation de l'utilisation de l'eau, le contrôle des inondations et la lutte contre l'érosion et la sédimentation, tout en assurant un approvisionnement constant en eau de qualité élevée et une réduction des coûts de traitement de l'eau et de l'entretien des infrastructures.

Un marché émergent des « obligations vertes » montre un potentiel prometteur pour la mobilisation des financements des SfN et, surtout, démontre que les SfN permettent d'obtenir de bons rendements lorsqu'elles sont évaluées par rapport aux rigoureux critères standardisés des

performances d'investissements. Le secteur privé pourrait également être encouragé et orienté davantage afin de promouvoir les SfN dans les secteurs où il est implanté. Le développement de nouvelles compétences internes et une prise de conscience de l'efficacité des SfN pourraient favoriser ce développement.

La transformation des politiques agricoles constitue l'un des principaux moyens pour financer et adopter les SfN. Cela implique qu'il faudra surmonter le principe en vertu duquel l'écrasante majorité des subventions agricoles, et probablement la majorité des financements publics et presque tous les investissements privés dans la recherche et le développement agricoles, soutiennent l'intensification de l'agriculture traditionnelle, qui incite l'insécurité accrue de l'eau. L'intégration du concept d'intensification écologique durable de la production agricole, qui consiste principalement en l'utilisation des SfN (par exemple l'emploi des pratiques améliorées de gestion du sol et du paysage), est non seulement un moyen avéré pour assurer la sécurité alimentaire, mais constituerait aussi une avancée majeure vers un financement des SfN pour la gestion de l'eau.

L'évaluation des avantages partagés des SfN (par un examen plus holistique des coûts et des bénéfices) est une étape indispensable dans la réalisation d'investissements efficaces et la levée de ressources financières plurisectorielles. Lors de cette évaluation, tous les avantages doivent être pris en compte, et pas uniquement un éventail restreint de résultats hydrologiques. Cela nécessite une approche systématique détaillée, or les données disponibles indiquent que cette approche apportera des améliorations considérables au processus de prise de décision et au rendement général du système.

### *Développer un cadre réglementaire et juridique favorable pour la mise en œuvre des SfN*

Le cadre réglementaire et juridique actuel portant sur la gestion de l'eau a été principalement élaboré dans l'optique d'une approche axée sur l'infrastructure grise. Par conséquent, des difficultés peuvent surgir dans l'application des SfN dans un tel contexte. Cependant, au lieu de s'attendre à des changements rapides dans les cadres réglementaires, il serait plus judicieux de promouvoir les SfN d'une façon plus efficace dans le cadre des règlements en vigueur. Dans le cas où la législation nationale ne disposerait pas de dispositions spécifiques, un premier pas dans la bonne direction serait de voir où et comment les SfN pourraient soutenir les approches de planification actuelles à différents niveaux.

L'élaboration d'une législation nationale visant à promouvoir la mise en œuvre des SfN à l'échelle locale est primordiale. Un nombre, peu élevé mais grandissant, de pays a adopté des cadres réglementaires au niveau national en faveur des SfN. Par exemple, le Pérou a adopté un cadre juridique pour la réglementation et le suivi des

investissements dans l'infrastructure verte. Les cadres réglementaires élaborés au niveau régional pourraient également encourager un changement de comportement en faveur des SfN. Au sein de l'Union européenne, l'harmonisation de la législation et des politiques de ses Etats Membres en ce qui concerne l'agriculture, les ressources en eau et l'environnement a créé de nouvelles opportunités pour mettre en œuvre des SfN.

Au niveau mondial, les SfN offrent aux États Membres un moyen de réagir et d'utiliser comme outils, par exemple les divers accords multilatéraux sur l'environnement (notamment la Convention sur la diversité biologique, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), la Convention de Ramsar sur les zones humides, le Cadre de Sendai sur la réduction des risques de catastrophe, les cadres convenus pour la sécurité alimentaire et l'Accord de Paris sur les changements climatiques), tout en répondant aux impératifs économiques et sociaux. Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et ses ODD connexes forment un cadre général pour la promotion des SfN.

### *Améliorer la collaboration transversale*

Les SfN pourraient exiger une collaboration plus étroite au niveau transversal et institutionnel que celui des approches basées sur des infrastructures grises, en particulier quand il s'agit de leur application à l'échelle du paysage. Toutefois, ces exigences pourraient inciter ces secteurs à se rassembler autour d'un programme commun, dans un seul but ou.

Dans de nombreux pays, le paysage politique demeure très fragmenté et exigerait une meilleure harmonisation des programmes économiques, environnementaux et sociaux. Les SfN bénéficient non seulement de ces processus d'harmonisation, mais créent en même temps les moyens pour y parvenir, car elles permettent d'obtenir de multiples, et très souvent très importants, avantages partagés, au-delà des simples résultats hydrologiques. Un mandat clair émanant des plus hauts échelons politiques pourrait considérablement accélérer la mise en œuvre des SfN, tout en favorisant une meilleure coopération transversale.

### *L'amélioration de la base de connaissances sur les SfN*

L'amélioration de la base de connaissances sur les SfN, y compris dans certains cas par une plus grande rigueur sur le plan des connaissances scientifiques, est une exigence primordiale. En effet, des preuves bien établies permettraient de convaincre les décideurs de la viabilité des SfN. Par exemple, une préoccupation souvent évoquée consiste à affirmer que les SfN tardent à atteindre leurs effets, et que, par conséquent, l'infrastructure grise serait plus rapide. Cependant, les preuves indiquent que cela ne correspond pas toujours à la réalité et que les avantages procurés par les SfN pourraient être comparativement aussi favorables que ceux de l'infrastructure grise.

Le savoir traditionnel, ou des communautés locales, du fonctionnement de l'écosystème et du rapport entre la nature et la société est indubitablement un atout dans la mise en œuvre des SfN. Il serait donc nécessaire d'améliorer l'intégration de ces connaissances dans les évaluations et les prises de décision.

Afin d'améliorer la base des connaissances sur les SfN, il est impératif d'accorder la priorité à l'élaboration et la mise en œuvre de critères communs sur lesquels les SfN et d'autres options pour la gestion de l'eau pourraient être évaluées. Les critères généraux communément utilisés dans l'évaluation des options de gestion de l'eau (par exemple, la comparaison entre solutions vertes et solutions grises) peuvent être développés au cas par cas. L'inclusion complète de tous les avantages hydrologiques, ainsi que les avantages partagés, et l'ensemble des coûts et des avantages des services écosystémiques (quel que soit l'option), est une condition préalable. Ceci nécessitera, en retour, la recherche d'un consensus entre les différentes parties prenantes.

## **La contribution potentielle des SfN pour la gestion de l'eau à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030**

Les SfN offrent un fort potentiel pour contribuer à la réalisation des Cibles de l'ODD 6 (sur l'eau). En particulier, dans certains domaines, cette contribution pourrait avoir des incidences directes extrêmement positives sur d'autres ODD en lien avec la sécurité de l'approvisionnement en eau pour l'agriculture durable (ODD 2, en particulier la Cible 2.4), la bonne santé et le bien-être (ODD 3), les infrastructures résilientes (relatives à l'eau) (ODD 9), les établissements urbains durables (ODD 11) et la réduction des risques de catastrophes (ODD 11 et, en lien avec les changements climatiques, ODD 13).

Les avantages partagés des SfN sont particulièrement perceptibles aux ODD en lien avec l'écosystème et l'environnement, y compris dans les ODD en lien avec la réduction de la pression dues à l'utilisation des zones côtières et océaniques (ODD 14) et la protection des écosystèmes et de la biodiversité (ODD 15). Parmi les autres domaines auxquels les SfN pourraient également avoir des incidences sur la réalisation des ODD et des bénéfices communs singulièrement tangibles figurent : l'agriculture ; l'énergie ; la croissance économique inclusive et durable ; le plein emploi productif et le travail décent pour tous ; les villes et les établissements humains inclusifs, sûrs, résilients et durables ; des modes de production et de consommation durables ; et la lutte contre les changements climatiques et leurs effets.

---

## Comment avancer dans la mise en œuvre des SfN

Le recours plus systématique aux SfN jouera un rôle fondamental pour répondre aux principaux enjeux actuels de la gestion des eaux, en vue de maintenir et d'améliorer la disponibilité et la qualité de l'eau, tout en faisant reculer les risques y relatifs. La sécurité de l'approvisionnement en eau risquerait d'augmenter si on tarde à adopter rapidement des SfN. Ces dernières offriraient un moyen indispensable pour surmonter le scénario du maintien du statu quo (business-as-usual). Cependant, la nécessité et les possibilités d'une utilisation renforcée des SfN demeurent sous-évaluées.

Les Rapports mondiaux des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau ont systématiquement soutenu la nécessité d'un changement profond à l'égard de la gestion de l'eau. Le degré de reconnaissance insuffisant des rôles des écosystèmes dans la gestion des ressources en eau confirme l'importance d'un tel changement – l'utilisation plus répandue des SfN serait un moyen d'aboutir à ce résultat. Ce changement ne peut demeurer une simple aspiration – il devrait s'accélérer rapidement et, surtout se traduire par la mise en œuvre de politiques entièrement opérationnelles, assorties d'améliorations au niveau des sites. L'objectif devrait être de réduire les coûts et les risques, de maximiser le rendement et la solidité du système, tout en garantissant une performance optimale 'apte à l'emploi'. À cet égard, le rôle des politiques serait de permettre la prise de décisions appropriées au niveau des sites. Bien que tardive, le processus est enfin en marche, mais le chemin à parcourir est encore très long.

---

## Coda

La nature de la relation entre les écosystèmes, l'hydrologie et le bien-être humain ne doit pas être aussi précaire que ce qui a été démontré dans certains cas d'histoire ancienne et récente. Au fur et à mesure que l'humanité trace sa trajectoire à travers l'Anthropocène, l'adoption des SfN devient nécessaire non seulement pour améliorer les résultats en matière de gestion de l'eau et assurer la sécurité hydrique, mais aussi pour garantir des avantages connexes essentiels à tous les aspects du développement durable. Certes, les SfN ne sont pas une panacée, mais ils joueront un rôle essentiel dans la construction d'un avenir meilleur, plus lumineux, plus sûr et plus équitable pour tous.





# PROLOGUE

**L'ÉTAT DES RESSOURCES EN EAU  
DANS LE CADRE DE SOLUTIONS  
FONDÉES SUR LA NATURE**



WWAP | David Coates et Richard Connor

Avec la contribution de l'Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIAAS)

Une forêt de mangrove dans la baie de Phang-Nga (Thaïlande)



Les tendances actuelles de l'état des ressources en eau sont en grande partie telles qu'elles ont été évaluées dans le précédent Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. Le monde est toujours confronté à des défis multiples et complexes liés à l'eau qui devraient s'intensifier dans le futur. Ce Prologue s'étend sur deux aspects de ces défis liés aux ressources en eau qui revêtent une importance particulière pour les solutions fondées sur la nature (SfN). En premier lieu, il comprend une évaluation au niveau mondial du statut et des tendances actuels en matière de demande et de disponibilité de l'eau, des phénomènes extrêmes liés à l'eau et de la qualité de l'eau, en reconnaissant que la gestion durable de la nourriture, de l'énergie et de l'eau sont des éléments étroitement liés et que ces liens doivent être évalués. En deuxième lieu, les conséquences des changements écosystémiques sur les ressources en eau démontrent clairement la nécessité d'inclure les écosystèmes dans cette connexion entre la nourriture, l'énergie et l'eau.

## La demande en eau

L'utilisation de l'eau au niveau mondial a été multipliée par six au cours des 100 dernières années (Wada et al., 2016) et continue d'augmenter progressivement d'environ 1 % par an (AQUASTAT, s.d). L'utilisation de l'eau devrait continuer d'augmenter au niveau mondial, en fonction, entre autres, de la croissance démographique, du développement économique et de l'évolution des modes de consommation.

La population mondiale devrait augmenter de 7,7 milliards en 2017 à entre 9,4 milliards et 10,2 milliards d'ici 2050, dont les deux tiers de la population vivant en ville. Plus de la moitié de cette croissance anticipée devrait avoir lieu en Afrique (+1,3 milliard), avec l'Asie (+0,75 milliard) qui devrait être le second plus gros contributeur à la future hausse de la population (DESA, 2017). Au cours de la même période (2017-2050), le produit intérieur brut (PIB) mondial devrait être multiplié par 2,5 (OCDE, s.d), bien qu'avec des différences importantes au sein des pays et entre eux. La demande mondiale de production



## Le cycle de l'eau mondial s'intensifie en raison du réchauffement climatique, les régions les plus humides devenant plus humides et les régions les plus arides devenant plus arides

agricole et énergétique (principalement de nourriture et d'électricité), qui nécessitent toutes deux de grandes quantités d'eau, devraient augmenter d'à peu près 60 % et 80 % respectivement d'ici 2025 (Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; OCDE, 2012). Dans le même temps, le cycle de l'eau mondial s'intensifie en raison du réchauffement climatique, les régions les plus humides devenant plus humides et les régions les plus arides devenant plus arides (GIEC, 2014). Ces aspects du changement planétaire illustrent la nécessité d'une planification et d'une mise en œuvre rapides d'une gestion et de contre-mesures stratégiques, raisonnables et efficaces pour lutter contre la détérioration de la sécurité hydrique<sup>1</sup> (Burek et al., 2016).

Actuellement, la demande mondiale en eau a été estimée à environ 4 600 km<sup>3</sup> par an et devrait augmenter de 20 à 30 % pour atteindre 5 500 à 6 000 km<sup>3</sup> par an d'ici 2050 (Burek et al., 2016). Cependant, « des estimations à l'échelle mondiale sont compliquées en raison du peu de données d'observation disponibles et des interactions d'une combinaison de facteurs environnementaux, sociaux, économiques et politiques importants, tels que le réchauffement climatique, la croissance démographique, les changements liés à l'utilisation des terres, la mondialisation et le développement économique, les innovations technologiques, la stabilité politique et l'étendue de la coopération internationale. En raison de ces interconnexions, la gestion locale de l'eau a des conséquences au niveau mondial, et les développements au niveau mondial ont des conséquences locales » (Wada et al., 2016, p. 176).

<sup>1</sup> La sécurité hydrique est définie comme « la capacité d'une population à garantir un accès durable à des quantités suffisantes d'eau de qualité acceptable pour assurer les moyens de subsistance, le bien-être humain et le développement socioéconomique, à assurer la protection contre la pollution d'origine hydrique et les catastrophes liées à l'eau, et à préserver les écosystèmes dans un climat de paix et de stabilité politique » (ONU-Eau, 2013).

L'agriculture représente environ 70 % des prélèvements d'eau au niveau mondial, dont la grande majorité est utilisée pour l'irrigation. Cependant, les estimations mondiales pour la demande annuelle d'eau d'irrigation comportent des incertitudes. Cela n'est pas simplement dû à un manque de suivi et de rapports concernant l'eau utilisée pour l'irrigation, mais aussi à la nature intrinsèquement imprévisible de la pratique en elle-même. Les quantités d'eau utilisées pour l'irrigation à un moment donné varieront selon le type de culture et leurs différentes saisons de croissance, mais dépendent aussi des pratiques culturales et de la variabilité du sol ainsi que des conditions climatiques locales, sans compter les changements dans la superficie des terres équipées pour l'irrigation. L'efficacité des différentes techniques d'irrigation aura également un impact direct sur l'utilisation globale de l'eau. C'est ce qui rend si difficile la prévision de la demande future en eau pour l'irrigation. Par exemple, alors que Burek et al. (2016) ont prévu une augmentation des besoins mondiaux en eau pour l'irrigation des cultures pour 2050 qui devrait être comprise entre 23 % et 42 % au-dessus du niveau de 2010, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2011a) a prévu une augmentation de 5,5 % des prélèvements d'eau pour l'irrigation de 2008 à 2050. Citant les augmentations anticipées de l'efficacité de l'eau d'irrigation, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2012) a prédit une légère diminution de la consommation d'eau pour l'irrigation au cours de la période 2000-2050.


Indépendamment de toute augmentation de la demande en eau pour l'agriculture, un agrandissement des terres arables dans le cadre du maintien du statu quo sera nécessaire pour répondre à l'augmentation estimée de 60 % de la demande alimentaire. Selon les pratiques de gestion actuelles, l'intensification de la production entraîne une augmentation des perturbations mécaniques du sol et des apports de produits agrochimiques, d'énergie et d'eau. Ces facteurs associés aux systèmes alimentaires représentent 70 % de la perte prévue de biodiversité terrestre d'ici 2050 (Leadley et al., 2014). Cependant, ces impacts, y compris les besoins en terres et en eau supplémentaires, peuvent être largement évités si l'intensification de la production agricole est basée sur une intensification écologique qui comprend l'amélioration des services écosystémiques afin de réduire les apports externes (FAO, 2011b).

L'utilisation de l'eau par l'industrie, qui représente environ 20 % des prélèvements à l'échelle mondiale, est dominée par la production d'énergie, qui représente environ 75 % des prélèvements, les 25 % restants étant utilisés pour la fabrication (WWAP, 2014). Des projections de Burek et al. (2016) suggèrent que la demande globale en eau de l'industrie augmentera dans toutes les régions du monde, à l'exception de l'Amérique du Nord et de l'Europe occidentale et

méridionale. La demande industrielle pourrait être multipliée par huit (de façon relative) dans des régions telles que l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique centrale, l'Afrique de l'Est et l'Afrique australe, où les industries représentent actuellement une très faible proportion de l'utilisation totale d'eau. La demande industrielle devrait également augmenter de manière significative (jusqu'à deux fois et demie) en Asie du Sud, centrale et orientale (Burek et al., 2016). Selon l'OCDE (2012), la demande en eau pour l'industrie manufacturière devrait augmenter de 400 % sur la période 2000–2050. Les prélèvements d'eau au niveau mondial pour la production d'énergie devraient augmenter d'un cinquième au cours de la période 2010–2035, tandis que la consommation d'eau augmenterait de 85 % en raison du passage à des centrales électriques plus efficaces dotées de systèmes de refroidissement plus perfectionnés (qui réduiraient les prélèvements d'eau mais augmenteraient la consommation) et d'une production accrue de biocarburants (AIE, 2012). Chaturvedi et al. (2013) suggèrent que la limitation de la production de bioénergie aux terres agricoles marginales ou abandonnées non irriguées pourrait atténuer les impacts négatifs sur la production et le prix des aliments, l'utilisation de l'eau et la biodiversité.

L'utilisation domestique de l'eau, qui représente approximativement les 10 % restants des prélèvements d'eau à l'échelle mondiale, devrait augmenter de manière significative au cours de la période 2010–2050 dans presque toutes les régions du monde, à l'exception de l'Europe occidentale où elle reste constante. En termes relatifs, les plus fortes hausses de la demande intérieure devraient se produire dans les sous-régions africaines et asiatiques où elle pourrait plus que tripler, et plus que doubler en Amérique centrale et en Amérique du Sud (Burek et al., 2016). Cette croissance anticipée peut être principalement attribuée à une augmentation prévue des services d'approvisionnement en eau dans les établissements urbains.

En résumé, la demande mondiale en eau continuera d'augmenter de façon significative au cours des deux prochaines décennies. La demande industrielle et domestique en eau augmentera probablement nettement plus rapidement que la demande agricole, bien que l'agriculture reste le plus grand consommateur global. Rosegrant et al. (2002) avait prévu que, pour la « première fois dans l'histoire de l'humanité », la croissance absolue de la demande en eau non agricole dépassera la croissance de la demande agricole, ce qui provoquera une baisse de la part de l'agriculture dans la consommation totale d'eau dans les pays en développement, laquelle passera de 86 % en 1995 à 76 % en 2025. Ces projections mettent l'accent sur l'importance de relever les défis liés à l'eau auxquels est confrontée l'agriculture, alors que la demande agricole en eau et la concurrence qui en résulte devraient toutes les deux augmenter. Les options de développement agricole adoptées seront le facteur le plus important pour déterminer l'avenir de la sécurité dans l'agriculture et d'autres secteurs.



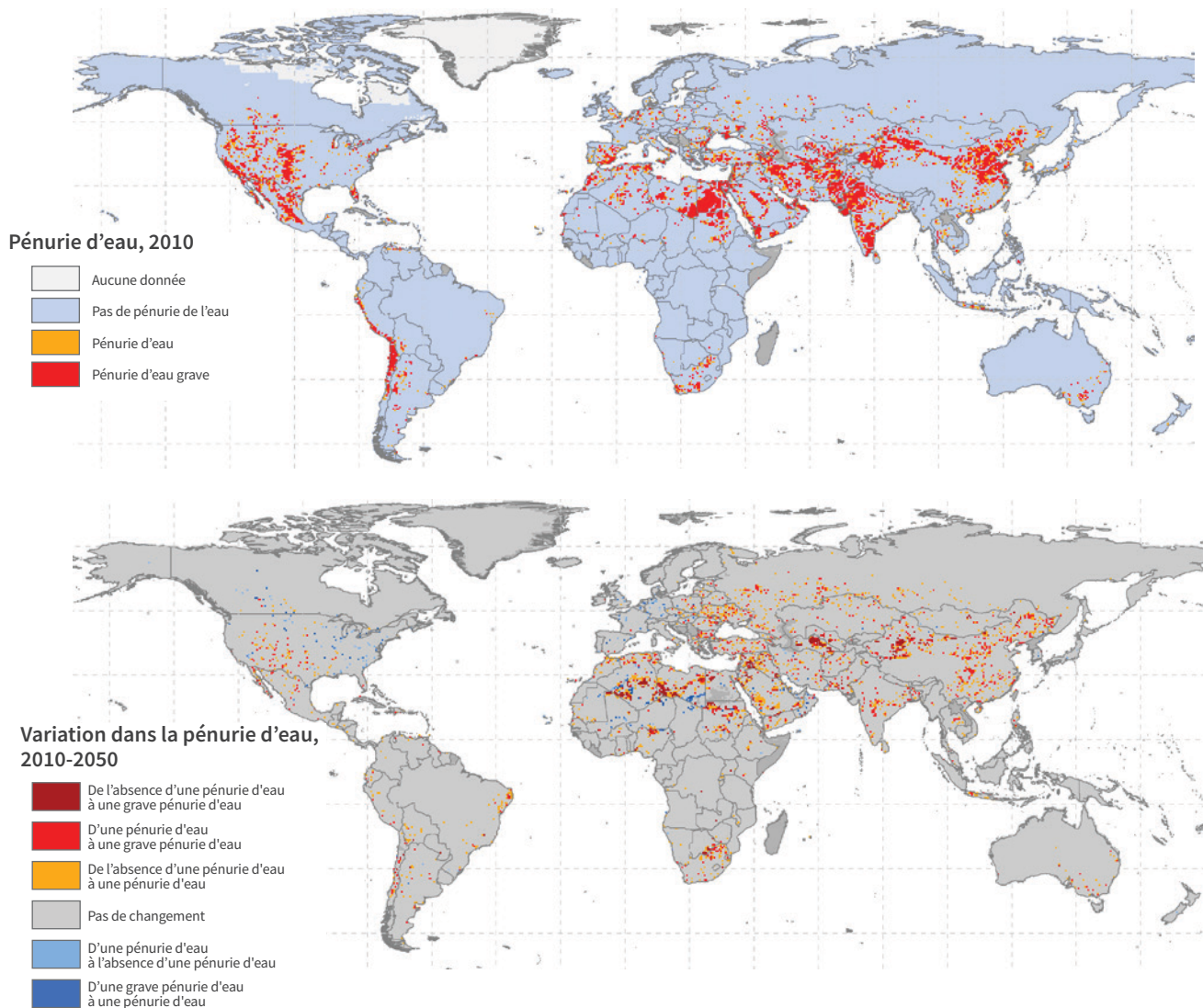
La demande mondiale en eau continuera d'augmenter de façon significative au cours des deux prochaines décennies

## La disponibilité de l'eau

Les ressources en eau de surface disponibles à l'échelle du continent devraient rester relativement constantes par rapport à l'évolution de la population, du PIB ou de la demande en eau. Au niveau sous-régional, tout changement serait faible, allant de -5 % à +5 %, en raison des effets du changement climatique, mais les changements peuvent être beaucoup plus prononcés au niveau national (Burek et al., 2016). De nombreux pays connaissent déjà des conditions de pénurie d'eau généralisée et devront probablement faire face à une disponibilité réduite des ressources en eau de surface dans les années 2050 (voir figure 1). À l'heure actuelle, quasiment tous les pays d'une ceinture située entre 10 degrés et 40 degrés environ au nord, du Mexique à la Chine et à l'Europe du Sud, sont touchés par la pénurie d'eau, comme l'Australie, l'Amérique du Sud occidentale et l'Afrique australe dans l'hémisphère Sud (Veldkamp et al., 2017). Dans les années 2010, 1,9 milliard de personnes (27 % de la population mondiale) vivaient dans des zones potentielles de pénurie d'eau, et ce chiffre pourrait atteindre 2,7 milliards à 3,2 milliards en 2050. Cependant, si la variabilité mensuelle est prise en compte, 3,6 milliards de personnes dans le monde (51 % de la population mondiale) vivent déjà dans des zones potentielles de pénurie d'eau au moins un mois par an, et ce chiffre pourrait atteindre 4,8 à 5,7 milliards en 2050. Environ 73 % des personnes touchées vivent en Asie (69 % d'ici 2050). En tenant compte de la capacité d'adaptation, 3,6 à 4,6 milliards de personnes (43–47%) seront soumises à un stress hydrique dans les années 2050, dont de 91 % à 96 % vivant en Asie, principalement au Sud et à l'Est, et de 4 % à 9 % en Afrique, principalement au Nord (Burek et al., 2016).

L'utilisation des eaux souterraines à l'échelle mondiale, principalement pour l'agriculture, s'élève à 800 km<sup>3</sup> par année en 2010, l'Inde, les États-Unis, la Chine, l'Iran et le Pakistan (en ordre décroissant) représentant 67 % des prélèvements totaux dans le monde (Burek et al., 2016). Les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont été identifiés

**Figure 1** Pénurie physique d'eau en 2010 (figure du haut) et variations prévisionnelles de la pénurie d'eau\* en 2050 (figure du bas) basées sur le scénario *middle-of-the-road* (intermédiaire)\*\*



\*Les régions sont considérées en pénurie d'eau lorsque l'ensemble des prélèvements annuels pour l'usage humain se situent entre 20 % et 40 % de l'ensemble des ressources en eau de surface renouvelables, et en pénurie d'eau grave lorsque les prélèvements dépassent 40 %.

\*\*Les scénarios utilisés pour cet exercice de modélisation sont basés sur « water extended shared socio-economic pathways ». Le scénario *middle-of-the-road* (intermédiaire) part du principe que le développement mondial suit des tendances et des paradigmes du passé, de sorte que les tendances sociales, économiques et technologiques ne diffèrent pas nettement des modèles historiques (c'est-à-dire du statu quo).

Source : Burek et al. (2016, fig. 4-39, p. 65).

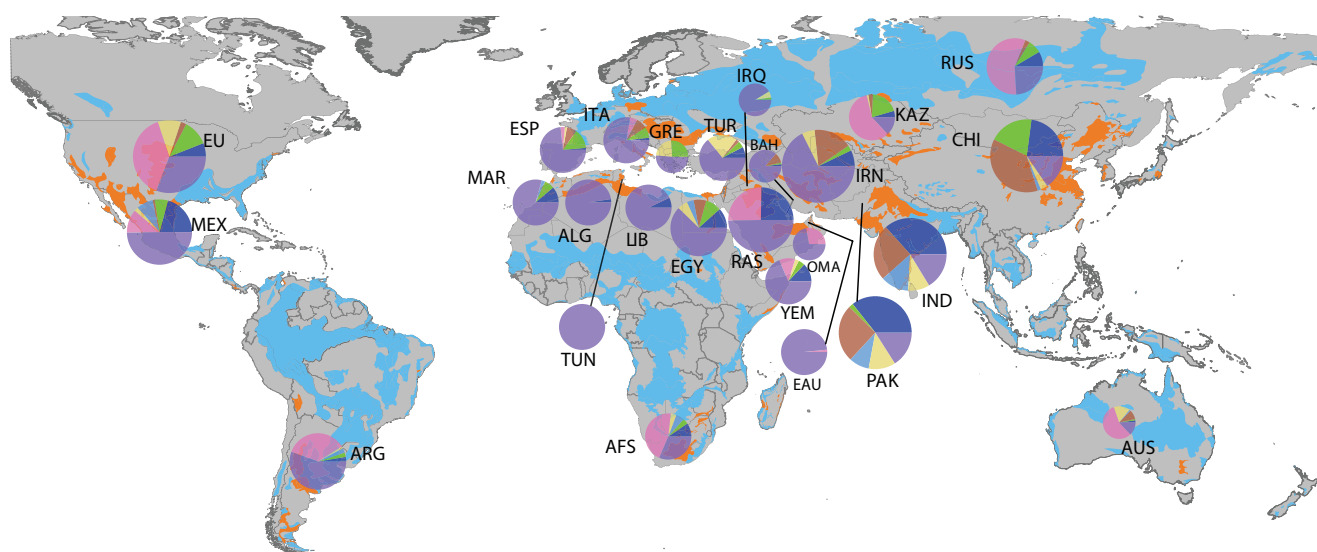
comme le principal facteur de l'épuisement des eaux souterraines dans le monde (voir figure 2). Une forte augmentation des prélèvements dans les eaux souterraines de l'ordre de 1 100 km<sup>3</sup> par année est prévue d'ici les années 2050, ce qui correspond à une augmentation de 39 % par rapport aux niveaux actuels (voir figure 3).

L'importance des défis actuels en matière de disponibilité en eau ne peut être entièrement comprise qu'en comparant les prélèvements d'eau à leurs niveaux durables maximaux. Avec environ 4 600 km<sup>3</sup> par an, les prélèvements mondiaux actuels sont déjà proches des niveaux durables maximaux (Gleick et Palaniappan, 2010 ; Hoekstra et Mekonnen, 2012) et, comme indiqué dans les précédents Rapports mondiaux

sur la mise en valeur des ressources en eau, les chiffres mondiaux masquent des défis plus grands à l'échelle régionale et locale. Un tiers des plus grands systèmes d'eaux souterraines du monde sont déjà en détresse (Richey et al., 2015). Les tendances des eaux souterraines susmentionnées supposent également des prélèvements croissants d'eaux souterraines non renouvelables (fossiles) – incontestablement une voie non viable.

Il existe une forte concurrence pour les terres agricoles marginales, dégradées et abandonnées pour la production alimentaire, l'expansion urbaine et la restauration des écosystèmes naturels, ce qui réfute l'idée que cela constitue une solution pour atténuer les impacts de la

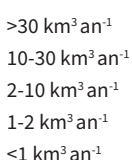
**Figure 2** Contribution à l'épuisement des eaux souterraines dans le monde, par culture, en 2010



Indice de stress de la nappe souterraine



Épuisement des eaux souterraines pour l'irrigation



\*L'indice de stress de la nappe souterraine est le rapport calculé de l'empreinte des eaux souterraines [défini plus formellement comme  $GF = A[C / (R - E)]$ ], où C, R et E sont respectivement le prélèvement annuel moyen de surface des eaux souterraines, le taux de recharge et la contribution des eaux souterraines au débit environnemental ; et A est l'étendue de surface de toute région d'intérêt où C, R et E peuvent être définis) à la zone aquifère (AA).  $GF/AA > 1$  indique les zones où une consommation d'eau souterraine non durable pourrait avoir une incidence sur la disponibilité en eaux souterraines et sur les eaux de surface ainsi que les écosystèmes tributaires des eaux souterraines.

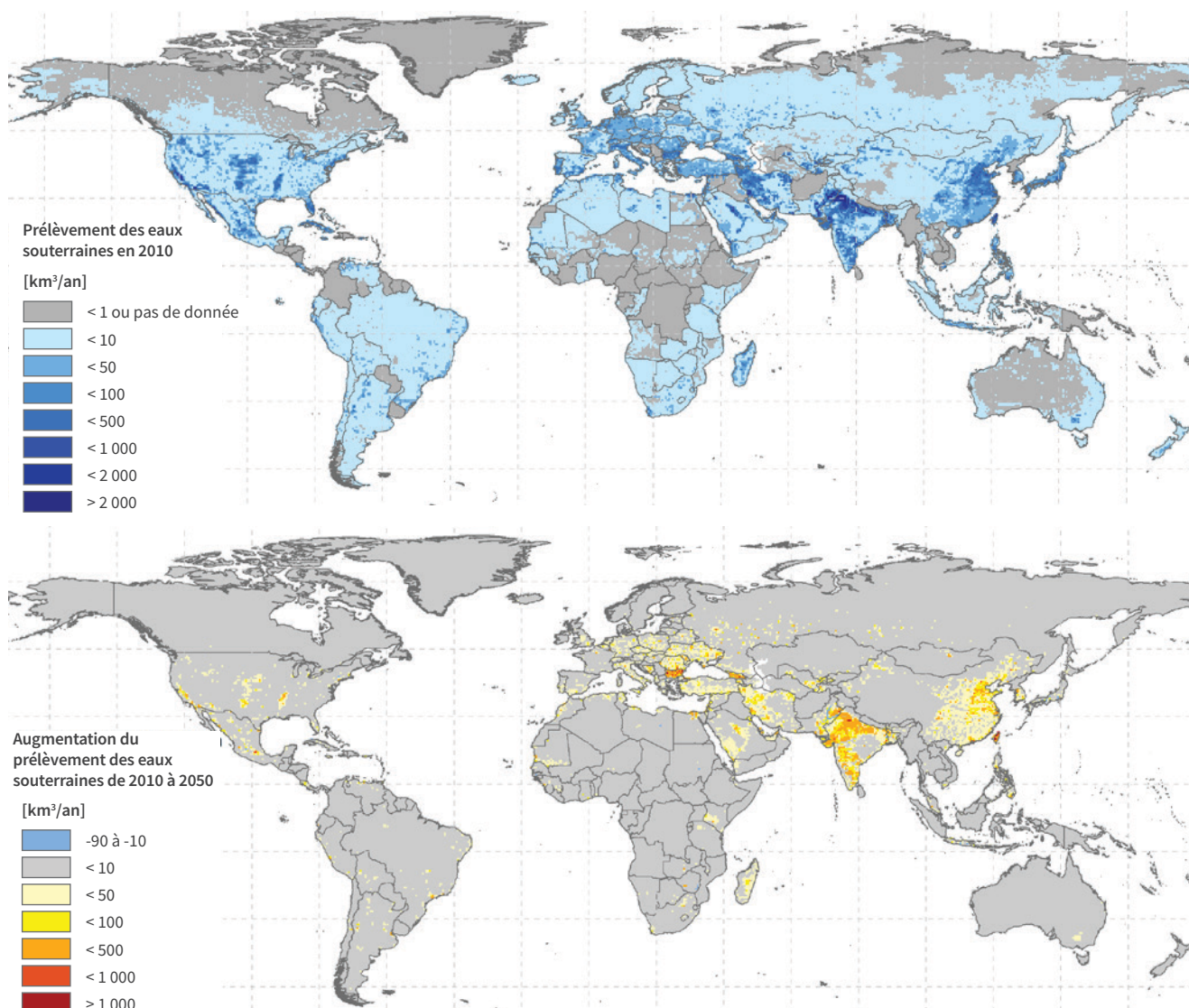
Remarque : Les diagrammes circulaires montrent les fractions de l'épuisement des eaux souterraines pour l'irrigation des cultures principales par pays, et leur taille indique le volume total de l'épuisement des eaux souterraines. Le fond de carte montre l'indice de stress de la nappe souterraine (correspondant à la surexploitation lorsqu'il est supérieur à un) des principaux aquifères. Certains pays ont surexploité les aquifères, mais aucun diagramme circulaire n'est présenté car l'utilisation des eaux souterraines n'est pas liée principalement à l'irrigation. Les zones grisées représentent des zones où il n'y a pas de grandes cultures dépendantes des productions d'eau souterraine.

Source : Dalin et al. (2017, figure 1, pp. 700-704). © 2017 Reproduit avec la permission de Macmillan Publishers Ltd.

production bioénergétique (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2014). En outre, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation peut en réalité conduire à une intensification globale de l'appauvrissement en eau au niveau du bassin par une augmentation de l'évaporation totale des cultures et une réduction des reflux (Huffaker, 2008). Les gains d'efficacité de l'eau dans l'irrigation devraient par conséquent être accompagnés de mesures réglementaires sur les attributions d'eau ou les zones d'irrigation (Ward et Pulido-Velazquez, 2008). L'Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture (2007) a déjà souligné que les possibilités d'expansion de l'irrigation dans le monde entier sont limitées, à l'exception de certaines régions,

et qu'il est nécessaire de s'intéresser à l'amélioration de l'agriculture pluviale plutôt qu'à l'attribution des eaux de surface. L'option consistant à construire davantage de bassins de retenue est de plus en plus limitée par l'ensablement, le ruissellement disponible, les préoccupations et les restrictions environnementales et le fait que les sites les plus rentables et les plus viables des pays développés ont été identifiés et exploités. Des méthodes de stockage de l'eau plus respectueuses des écosystèmes, telles que les zones humides naturelles, l'humidité du sol et une recharge plus efficace des eaux souterraines pourraient être plus durables et plus rentables que les infrastructures traditionnelles comme les barrages dans certaines zones (OCDE, 2016).

**Figure 3** Prélèvements d'eau souterraine en 2010 (figure du haut) et augmentation des prélèvements d'eau souterraine d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2010 (figure du bas) selon le scénario *middle-of-the-road* (intermédiaire)



\*Les scénarios utilisés pour cet exercice de modélisation sont basés sur « water extended shared socio-economic pathways ». Le scénario *middle-of-the-road* (intermédiaire) part du principe que le développement mondial suit des tendances et des paradigmes du passé, de sorte que les tendances sociales, économiques et technologiques ne diffèrent pas nettement des modèles historiques (c'est-à-dire du statu quo).

Source: Burek et al. (2016, fig. 4–29, p. 55).

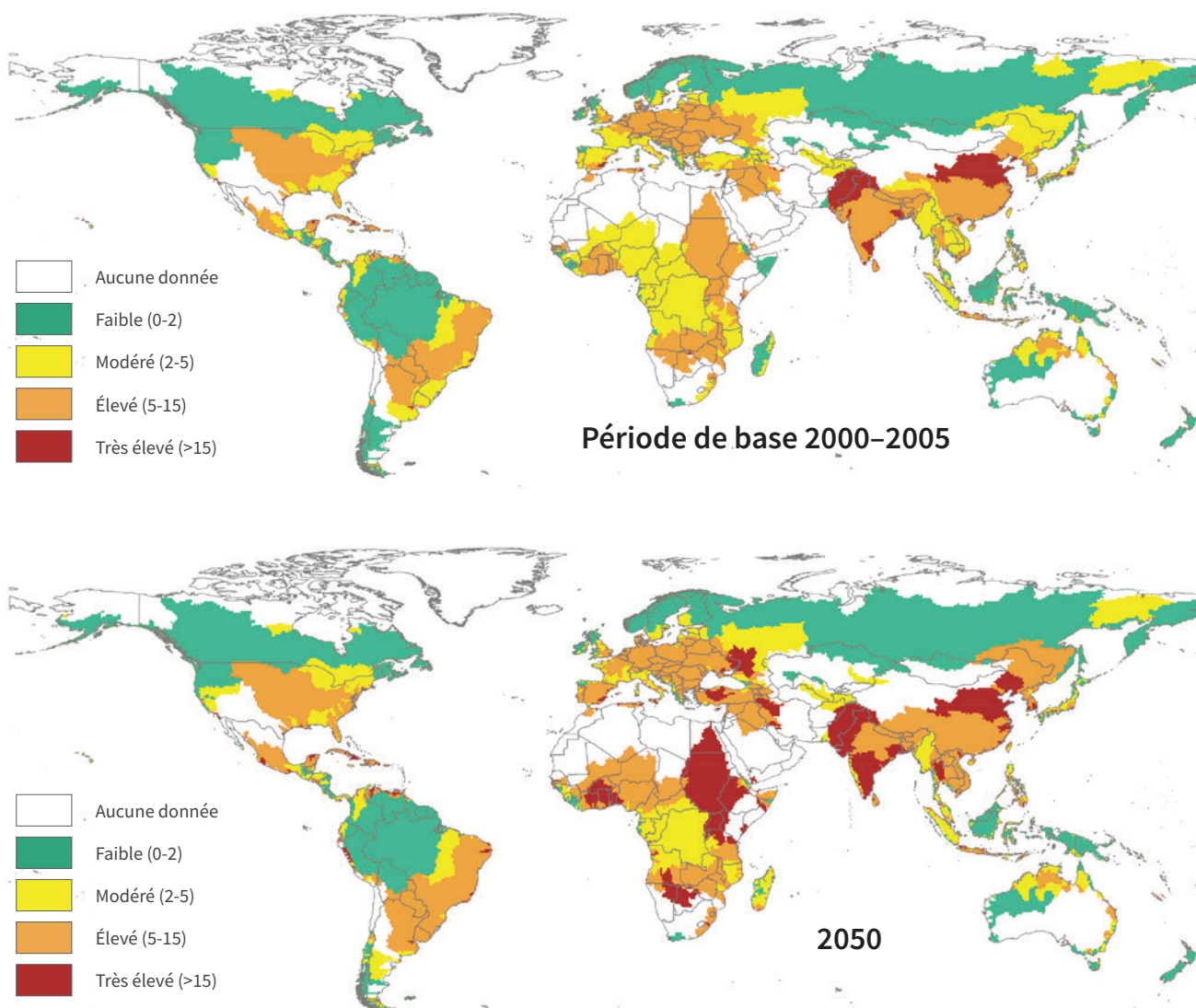
## Qualité de l'eau

Les principales zones sujettes à des menaces pour la qualité de l'eau sont fortement en corrélation avec les densités de population et les zones de croissance économique, les scénarios futurs étant largement déterminés par les mêmes facteurs (voir figure 4). Depuis les années 1990, la pollution de l'eau a empiré dans quasiment toutes les rivières d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie (PNUE, 2016a). La détérioration de la qualité de l'eau devrait s'aggraver au cours des prochaines décennies et cela va augmenter les menaces pour la santé humaine, l'environnement et le développement durable (Veolia/IFPRI, 2015).

Environ 80 % de l'ensemble des eaux usées industrielles et municipales est rejeté dans la nature sans traitement préalable, ce qui entraîne une détérioration croissante de la qualité globale de l'eau et des effets préjudiciables sur la santé humaine et les écosystèmes (WWAP, 2017).

À l'échelle mondiale, le défi le plus courant en lien avec la qualité de l'eau concerne la charge en matières nutritives, qui est souvent associée à la charge en agents pathogènes (PNUE, 2016a). La contribution relative des nutriments qui proviennent des eaux usées de manière ponctuelle par rapport aux sources diffuses varie selon les régions. Malgré des décennies de réglementation et d'importants investissements visant à réduire la pollution ponctuelle de l'eau dans les pays développés, les

**Figure 4** Indices de risque de la qualité de l'eau des principaux bassins hydrographiques pour la période de référence (2000–2005) par rapport à 2050 (indice de l'azote publié par CSIRO\* -scénario moyen\*\*)



\*Organisation de recherche scientifique et industrielle du Commonwealth

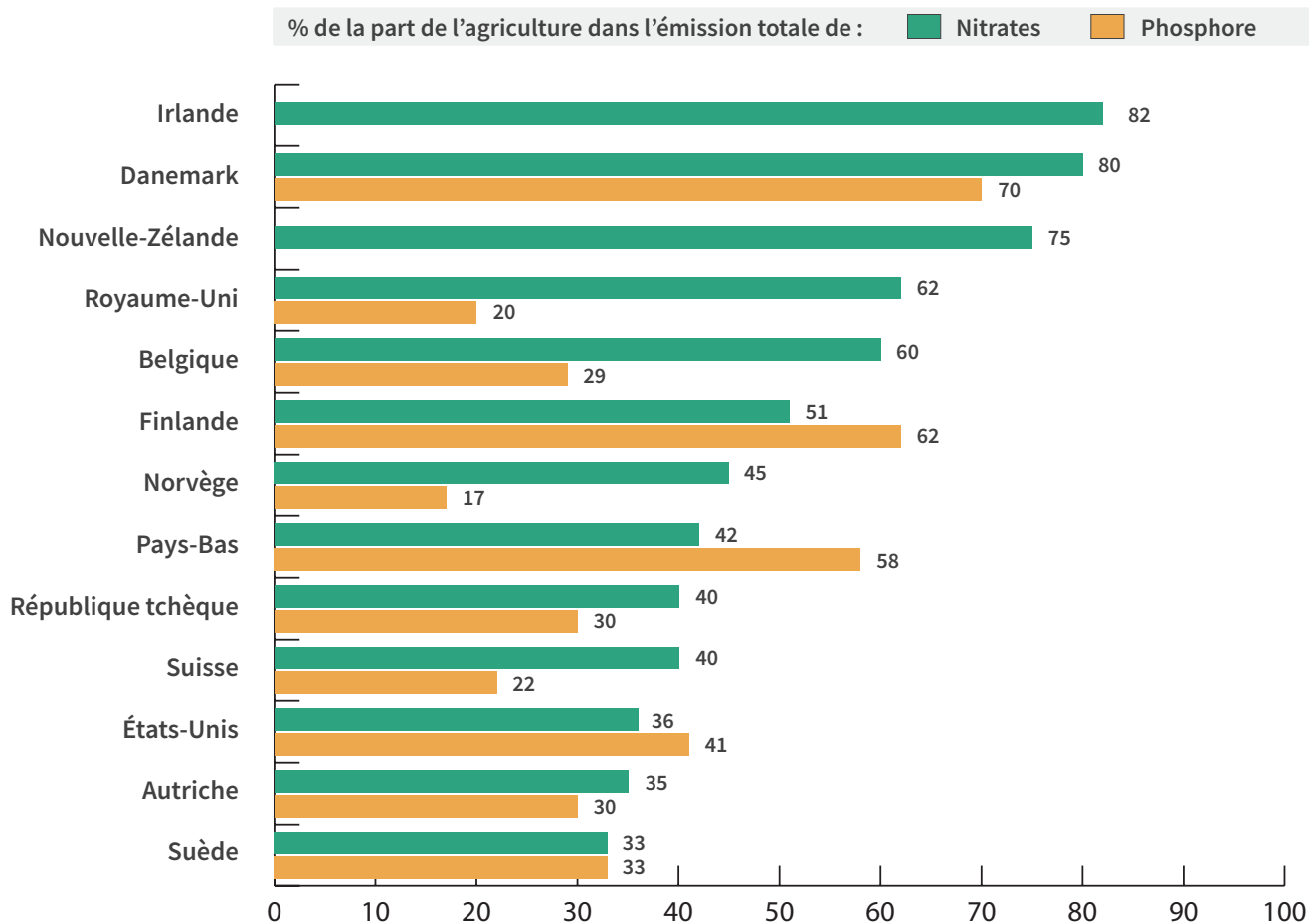
\*\*Ce scénario prend comme base un climat plus sec (comme prévu par le modèle des changements climatiques du CSIRO) et un niveau moyen de croissance socioéconomique.

Source : Veolia/IFPRI (2015, fig. 3, p. 9).

problèmes de qualité de l'eau persistent en raison de sources diffuses de pollution insuffisamment réglementées. La gestion du ruissellement diffus des excédents de nutriments provenant de l'agriculture, y compris dans les eaux souterraines, est considérée comme le principal défi lié à la qualité de l'eau au niveau mondial (PNUE, 2016a ; OCDE, 2017). L'agriculture demeure la principale source d'azote réactif rejeté dans l'environnement et une source importante de phosphore (voir figure 5). Le développement économique ne représente pas, à lui seul, une solution à ce problème. Près de 15 % des stations de surveillance des eaux souterraines en Europe ont signalé que la norme pour les nitrates établie par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) était dépassée dans l'eau potable, et les stations de surveillance ont noté qu'environ 30 % des rivières et 40 % des lacs étaient eutrophes ou hypertrophes (CE, 2013a).

À l'échelle mondiale, le défi le plus courant en lien avec la qualité de l'eau concerne la charge en matières nutritives

**Figure 5** Part en pourcentage de l'agriculture dans les émissions totales de nitrates et de phosphore dans les pays de l'OCDE, 2000–2009



Remarque : Les pays sont classés par ordre décroissant de la part des nitrates dans les eaux de surface.

Pour les **nitrates**, les chiffres présentés correspondent à l'année 2000 pour l'Autriche, les États-Unis, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, la République tchèque et la Suisse; please replace all année in this figure with l'année 2002 pour le Danemark; l'année 2004 pour la Finlande et l'Irlande; l'année 2005 pour la Belgique (Wallonie); l'année 2008 pour le Royaume-Uni; et l'année 2009 pour les Pays-Bas et la Suède.

Pour le **phosphore**, les chiffres présentés correspondent à l'année 2000 pour l'Autriche, les États-Unis, la Norvège, la République tchèque et la Suisse; l'année 2002 pour le Danemark; l'année 2004 pour la Finlande; l'année 2005 pour la Belgique (Wallonie); et l'année 2009 pour les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la Suède.

Source : OCDE (2013, fig. 9.1, p. 133).

Les inondations représentent 47 % des désastres naturels depuis 1995, touchant un total de 2,3 milliards de personnes

En plus des nutriments, des centaines de produits chimiques sont également impliqués dans la modification de la qualité de l'eau. L'intensification de l'agriculture a déjà provoqué une augmentation de l'utilisation de produits chimiques à travers le monde à hauteur d'environ deux millions de tonnes par an, les herbicides représentant 47,5 %, les insecticides 29,5 %, les fongicides 17,5 % et d'autres types 5,5 % (De et al., 2014). Les impacts de cette tendance sont essentiellement non quantifiés et de sérieux manques de données existent : par exemple, Bünemann et al. (2006) n'ont pas trouvé de données disponibles concernant les effets sur le biote du sol, parmi les premiers organismes non visés, pour 325 des 380 des composants actifs des pesticides homologués en Australie. Un rapport récent de la Rapporteuse spéciale sur le droit à l'alimentation (Assemblée générale des Nations unies, 2017) attire l'attention sur l'urgence de l'amélioration des politiques d'utilisation de pesticides. Les nouveaux contaminants préoccupants évoluent et augmentent en permanence, et


sont souvent détectés à des taux plus élevés que prévu (Sauvé et Desrosiers, 2014). Les exemples comprennent les produits pharmaceutiques, les hormones, les substances chimiques industrielles, les produits de soins personnels, les ignifuges, les détergents, les composés perfluorés, la caféine, les parfums, les cyanotoxines, les nanomatériaux et les agents de nettoyage antibactériens et leurs produits de transformation. Les impacts sur les personnes et la biodiversité se feront principalement par l'eau et restent en grande partie inconnus (WWAP, 2017).

Les changements climatiques affecteront la qualité de l'eau de différentes manières. Par exemple, les modifications sur le plan spatial et temporel et la variabilité des précipitations ont une incidence sur le débit des eaux de surface et par conséquent sur les effets de dilution, tandis que les hausses de température entraînent une plus grande évaporation dans les surfaces ouvertes et les sols, et l'augmentation de la transpiration de la végétation réduit potentiellement la disponibilité de l'eau (Hipse et Arheimer, 2013). De l'oxygène dissous va s'appauvrir plus rapidement en raison de températures plus élevées dans l'eau et il est probable que de plus grandes quantités de polluants s'écoulent dans des plans d'eau à la suite de pluies extrêmes (GIEC, 2014).

On s'attend à ce que les augmentations les plus importantes de l'exposition aux polluants se produisent dans les pays à faible niveau de revenu et à revenu intermédiaire, principalement en raison de la croissance démographique et économique plus forte dans ces pays, en particulier ceux d'Afrique (PNUE, 2016a), et de l'absence de systèmes de gestion des eaux usées (WWAP, 2017). Étant donné la nature transfrontalière de la plupart des bassins fluviaux, la coopération régionale sera essentielle pour relever les défis prévus en matière de qualité de l'eau.

## Les phénomènes extrêmes

Les tendances de la disponibilité de l'eau sont accompagnées de changements prévus dans les risques d'inondation et de sécheresse. On peut s'inquiéter en particulier de l'augmentation du risque d'inondation dans certaines zones traditionnellement pauvres en eau (par exemple au Chili, en Chine, en Inde, ainsi qu'en Afrique du Nord et au Moyen-Orient,) où les stratégies locales de gestion des inondations risquent d'être peu développées. Les pertes économiques dues aux risques liés à l'eau ont considérablement augmenté au cours des dernières décennies. Depuis 1992, les inondations, les sécheresses et les tempêtes ont touché 4,2 milliards de personnes (95 % de l'ensemble des personnes touchées par toutes les catastrophes) et causé 1 300 milliards de dollars de dommages, soit 63 % de tous les dommages liés aux catastrophes dans le monde (CESAP/UNISDR, 2012).



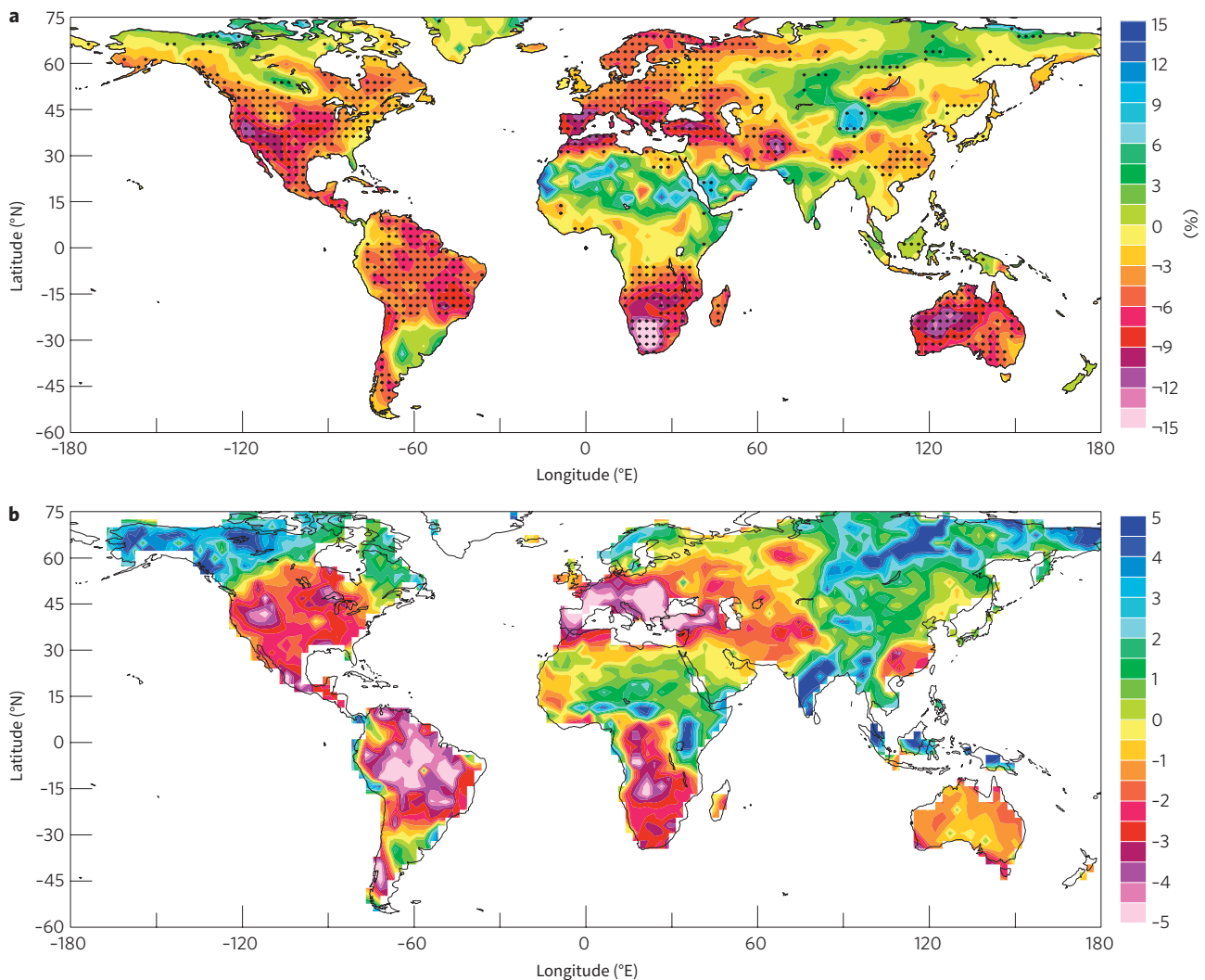
On s'attend à ce que les augmentations les plus importantes de l'exposition aux polluants se produisent dans les pays à faible niveau de revenu et à revenu intermédiaire

Selon l'OCDE, « le nombre de personnes exposées aux inondations devrait passer de 1.2 milliard à 1.6 milliard (presque 20 % de la population mondiale). On prévoit que la valeur économique des biens exposés avoisinera 45 000 milliards USD à l'horizon 2050, soit une augmentation de plus de 340 % par rapport à 2010 » (OCDE, 2012, p. 235). Les inondations représentent 47 % des désastres naturels depuis 1995, touchant un total de 2,3 milliards de personnes. Le nombre d'inondations est passé à 171 par an en moyenne sur la période 2005-2014, contre une moyenne annuelle de 127 au cours de la décennie précédente (CRED/UNISDR, 2015). Par exemple, en République démocratique populaire de Corée, le coût des inondations représente 39 % du PIB, tandis qu'au Yémen ce coût s'élève à 11 % du PIB. (CRED/UNISDR, 2015).

La population touchée actuellement par la dégradation des terres, la désertification et la sécheresse est estimée à 1,8 milliard d'habitants, ce qui en fait la catégorie la plus importante de « catastrophes naturelles » en termes de mortalité et d'impact socioéconomique par rapport au PIB par habitant (Low, 2013). La sécheresse est aussi un problème chronique et à long terme par rapport aux effets à court terme des inondations, et les sécheresses représentent probablement la plus grande menace liée aux changements climatiques. Les changements dans les futurs régimes pluviométriques modifieront l'occurrence de la sécheresse et, par conséquent, la disponibilité de l'humidité du sol pour la végétation dans de nombreuses régions du monde (voir figure 6). La durée et la gravité plus longues des sécheresses prévues peuvent être atténuées par un stockage accru d'eau, ce qui nécessite des investissements plus importants dans les infrastructures, entraînant des compromis considérables pour la société et l'environnement. Par conséquent, le stockage de l'eau dans l'environnement (« infrastructures durables ») doit faire partie des solutions spécifiques sur le plan géographique. Les effets des sécheresses seront aggravés par les prélèvements croissants en réponse à la demande croissante d'eau.



**Figure 6** Prédiction des changements dans la teneur moyenne en eau du sol dans la couche supérieure de 10 cm, en pourcentage,\* de 1980-1999 (figure du haut) à 2080-2099 (figure du bas)



\*Basé sur des prévisions d'ensemble multi-modèles simulées par 11 modèles CMIP5 (projet d'intercomparaison des modèles couplés, phase 5) dans le scénario d'émissions RCP 4.5 (*representative concentration pathway*).

Source : Dai (2013, figure 2, p. 53). © 2013 Réimprimé avec la permission de Macmillan Publishers Ltd.

## Les tendances des changements écosystémiques ayant un impact sur les ressources en eau

Tous les principaux types d'écosystèmes terrestres et la plupart des écosystèmes ou biomes côtiers influent sur la disponibilité, la qualité et les risques de l'eau (voir chapitre 1). Les tendances de l'étendue et de la condition de ces écosystèmes sont, par conséquent, particulièrement pertinentes pour ce rapport, car elles indiquent dans quelle mesure la conservation ou la restauration des écosystèmes peuvent contribuer à relever les défis de la gestion des ressources en eau.


Environ 30 % de la surface terrestre mondiale est boisée, mais au moins 65 % de cette superficie est déjà dégradée (FAO, 2010). Cependant, le taux de perte nette

de superficie forestière a été réduit de plus de 50 % au cours des 25 dernières années et, dans certaines régions, la plantation compense la perte de forêts naturelles (FAO, 2016). Les prairies font partie des biomes les plus étendus au monde et, lorsque l'on inclut les terres cultivées et les zones arborées mais dominées par l'herbe, leur superficie dépasse celle des forêts. Les prairies se trouvent naturellement dans des régions où les conditions climatiques sont trop sèches ou trop froides pour d'autres types de végétation comme les forêts, mais de grandes superficies de forêts et de zones humides ont également été transformées en prairies, notamment pour le pâturage du bétail ou la production de cultures. De même, de vastes étendues de prairies naturelles ont été « améliorées » (c'est-à-dire modifiées pour le pâturage du bétail). Il est donc plus difficile de quantifier les tendances des surfaces et des conditions.

Les zones humides (y compris les rivières et les lacs) ne couvrent que 2,6 % des terres mais jouent un rôle considérable dans l'hydrologie par unité de surface. La meilleure estimation de la perte mondiale déclarée de zones humides naturelles provoquée par l'activité humaine se situe en moyenne entre 54 % et 57 %, mais la perte pourrait avoir atteint 87 % depuis 1700, avec un taux de perte de zones humides 3,7 fois plus rapide au cours du XXe siècle et au début du XXIe siècle, ce qui équivaut à une perte de 64 % à 71 % de l'étendue des zones humides depuis celle qui existait en 1900 (Davidson, 2014). Les pertes ont été plus importantes et plus rapides à l'intérieur des terres que pour les zones humides naturelles côtières. Bien que le rythme de disparition des zones humides en Europe ait ralenti, et qu'il soit resté faible en Amérique du Nord depuis les années 1980, le taux de perte est resté élevé en Asie, où la conversion à grande échelle et rapide des zones humides naturelles côtières et intérieures continue. Certaines de ces pertes sont compensées par l'expansion de zones humides aménagées ou aménagées, principalement des réservoirs et des rizières. La grande majorité des études ont conclu que les zones humides provoquent une augmentation ou une diminution d'une composante particulière du cycle de l'eau (Bullock et Acreman, 2003). L'ampleur de leur perte a, par conséquent, des répercussions importantes sur l'hydrologie. Cependant, les différentes zones humides ont des propriétés hydrologiques différentes et il est compliqué de quantifier les effets de ce changement global sur les ressources en eau.

L'utilisation des terres et les changements d'affectation des terres (UTCAT) directement provoqués par l'homme ont des impacts majeurs sur l'hydrologie, à l'échelle locale, régionale et mondiale (voir chapitre 1, section 1.3.3). Il existe des preuves claires que les tendances de l'UTCAT ont eu un impact sur les bilans hydrologiques à l'échelle du bassin, par exemple dans le bassin supérieur du Mississippi (Schilling et Libra, 2003 ; Zhang et Schilling, 2006) ou dans la partie moyenne du bassin du fleuve Jaune (par exemple Sun et al., 2006 ; Zhang et al., 2015). En plus d'affecter la dynamique de l'équilibre hydrique dans un bassin versant, l'UTCAT peut aussi affecter les précipitations et le ruissellement dans d'autres bassins versants, en raison du rôle de « recycleur d'eau » de la végétation et des effets de la circulation atmosphérique.

Les activités humaines qui entraînent des changements hydrologiques dans les prairies sont maintenant très courantes (Gibson, 2009). Le surpâturage, la dégradation des sols et le compactage des surfaces entraînent des taux d'évaporation plus élevés, un stockage d'eau moindre dans les sols et un ruissellement de surface plus important, tous ces éléments étant jugés préjudiciables aux services d'approvisionnement en eau des prairies, y compris à la qualité de l'eau (McIntyre et Marshall, 2010) et à l'atténuation des risques d'inondation et de sécheresse (Jackson et al., 2008). Les impacts significatifs se manifestent de plus en plus lorsque la gestion des prairies est associée à un brûlage régulier, ce qui tend à accroître l'utilisation de l'eau par la repousse de la végétation, et




La dégradation des terres est liée à la dégradation des services écosystémiques et à la faible productivité de l'eau, y compris dans les systèmes irrigués

donc à réduire l'apport d'eau (Sakalauskas et al., 2001). Le compactage du sol et les réductions connexes de la capacité d'infiltration causée par le pâturage sont de plus en plus rapportés dans la documentation (par exemple Bilotta et al., 2010). Environ 7,5 % des prairies à travers le monde ont été dégradées exclusivement en raison du surpâturage (Conant, 2012).

Les connaissances les plus approfondies sur l'état actuel et les tendances actuelles des changements et des impacts sur les ressources en eau des écosystèmes sont dans le domaine des sols ou de la dégradation des terres. La couche sol-végétation est l'interface la plus critique entre l'eau, les écosystèmes et les besoins humains (voir chapitre 1, section 1.3.2). L'évaluation en 2015 de l'*État des ressources en sols dans le monde*, entreprise par le Groupe technique intergouvernemental sur les sols (FAO/GTIS, 2015a), a déterminé que la majorité des ressources en sols dans le monde sont dans un état moyen, mauvais ou très mauvais et que les perspectives actuelles laissent présager une aggravation de cette situation. Le tableau 1 présente un résumé global de l'état et de la tendance des dix principales menaces pour les sols. Les menaces les plus importantes pour le capital naturel des sols à l'échelle mondiale sont l'érosion des sols, la perte de carbone organique du sol, le déséquilibre des nutriments et la perte de biodiversité, lesquels sont fortement interdépendants (comme les autres fonctions touchées par la plupart des autres menaces) et ont un impact sur les ressources en eau.

La dégradation des terres est liée à la dégradation des services écosystémiques et à la faible productivité de l'eau (Bossio et al., 2008), y compris dans les systèmes irrigués (Uphoff et al., 2011). L'érosion des sols des terres cultivées emporte 25 milliards à 40 milliards de tonnes de terre arable chaque année, ce qui réduit de manière significative le rendement des cultures et la capacité du sol à réguler l'eau, le carbone et les nutriments, et à transporter de 23 mégatonnes à 42 mégatonnes d'azote et de 15 mégatonnes à 26



Le changement d'utilisation des terres, la dégradation et l'érosion des sols et la perte de zones humides sont tous impliqués dans l'augmentation des risques de catastrophes

l'intégrité des zones humides côtières. Dans le delta du Mississippi, par exemple, la perte de zones humides et des services connexes de protection contre les tempêtes et les inondations, en raison de la réduction des apports de sédiments liés à la construction et à l'exploitation d'un barrage en amont, ont été l'un des principaux facteurs ayant contribué à la gravité des impacts de l'ouragan Katrina en 2005 (Batker et al., 2010). De nombreux grands établissements urbains et la plupart des mégapoles sont situés dans des deltas qui présentent des niveaux de risque similaires, voire plus élevés, grâce à des approches similaires, qu'elles soient bonnes ou mauvaises, de gestion des terres et de l'eau. La question n'est pas de savoir si la plupart seront touchés de la même manière, mais quand ?

mégatonnes de phosphore hors des terres, avec des effets négatifs majeurs sur la qualité de l'eau (FAO/GTIS, 2015a). La perte globale des réserves de carbone organique du sol depuis 1850 est estimée à environ  $66 \pm 12$  milliards de tonnes ; une contribution significative à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, mais aussi un facteur majeur qui nuit à la disponibilité de l'eau pour les cultures (FAO/GTIS, 2015b). La salinité et la sodicité des sols deviennent un problème important à l'échelle mondiale, que ce soit dans les zones irriguées ou dans les zones non irriguées, entraînant chaque année la perte de 0,3 million à 1,5 million d'hectares de terres agricoles et réduisant le potentiel de production de 20 millions à 46 millions d'hectares supplémentaires (FAO/GTIS, 2015a). On estime que 60 millions d'hectares de terres irriguées (soit 20 % du total) sont touchés par la salinité des sols (Squires et Glenn, 2011).

Il existe des preuves importantes que les changements dans les écosystèmes ont accru les risques et la vulnérabilité et qu'il s'agit, dans bien des cas, du principal facteur qui détermine les niveaux de risque (Renaud et al., 2013). Le changement d'utilisation des terres, la dégradation et l'érosion des sols et la perte de zones humides sont tous impliqués dans l'augmentation des risques de catastrophes (Wisner et al., 2012). Il existe un cercle vicieux entre les impacts du changement climatique, la dégradation des écosystèmes et l'augmentation du nombre de catastrophes liées au climat (Munang et al., 2013). L'inversion de la tendance à la dégradation des écosystèmes constitue une réponse politique clé pour la sécurité alimentaire à l'épreuve du climat (FAO, 2013a). Il est bien établi que les zones humides côtières intactes, y compris les mangroves, peuvent protéger les communautés côtières contre les phénomènes météorologiques extrêmes (et l'élévation du niveau de la mer) et que leur disparition augmente le risque et la vulnérabilité. Bien que l'augmentation des charges sédimentaires soit un problème pour la qualité de l'eau dans le monde, les niveaux naturels de transport des sédiments en aval peuvent s'interrompre lorsque les sédiments sont piégés derrière les barrages, ce qui diminue les apports de sédiments nécessaires au maintien de

**Tableau 1** Condition et tendance mondiales des menaces pour les sols, à l'exception de l'Antarctique

| Menace pour le sol                                 | Condition et tendance |   |   |  |          |
|--|-----------------------|---|---|--|----------|
|  | Très pauvre           | Pauvre  | Moyen                                       | Bon  | Très bon |
| Érosion du sol                                     | ✓ <b>NENA</b>         | ✓ <b>A</b><br>✓ <b>LAC</b><br>✓ <b>SSA</b>                                  | ↗ <b>E</b><br>↗ <b>NA</b><br>↗ <b>SP</b>    |  |          |
| Variation du carbone organique                     |                       | ↓↑ <b>A</b><br>↓↑ <b>E</b><br>✓ <b>LAC</b><br>✓ <b>NENA</b><br>✓ <b>SSA</b> | ↗ <b>NA</b><br>↓↑ <b>SP</b>                 |  |          |
| Déséquilibre des éléments nutritifs                |                       | ✓ <b>A</b><br>↓↑ <b>E</b><br>✓ <b>LAC</b><br>✓ <b>SSA</b><br>✓ <b>NA</b>    | ✓ <b>SP</b>                                 | ↓↑ <b>NENA</b>   |          |
| Salinisation et sodification                       |                       | ↓↑ <b>A</b><br>✓ <b>E</b><br>✓ <b>LAC</b>                                   | ✓ <b>NENA</b><br>↓↑ <b>SSA</b>              | ↗ <b>NA</b><br>↓↑ <b>SP</b>                                    |          |
| Imperméabilisation du sol et occupation des terres | ✓ <b>NENA</b>         | ✓ <b>A</b><br>✓ <b>E</b>  | ↓↑ <b>LAC</b><br>✓ <b>NA</b>                | = <b>SSA</b><br>✓ <b>SP</b>                                    |          |
| Perte de la biodiversité des sols                  |                       | ✓ <b>NENA</b><br>✓ <b>LAC</b>   | ↓↑ <b>A</b><br>✓ <b>E</b><br>✓ <b>SSA</b>   | ↓↑ <b>NA</b><br>↓↑ <b>SP</b>                                   |          |
| Contamination                                      | ✓ <b>NENA</b>         | ✓ <b>A</b><br>✓ <b>E</b>  | ↓↑ <b>LAC</b>                               | ✓ <b>SSA</b><br>↗ <b>NA</b><br>↗ <b>SP</b>                     |          |
| Acidification                                      |                       | ✓ <b>A</b><br>↓↑ <b>E</b><br>↗ <b>SSA</b><br>✓ <b>NA</b>                    | ↓↑ <b>LAC</b><br>✓ <b>SP</b>                | ↓↑ <b>NENA</b>   |          |
| Compactage   |                       | ✓ <b>A</b><br>✓ <b>LAC</b><br>✓ <b>NENA</b>                                 | ↓↑ <b>E</b><br>↓↑ <b>NA</b><br>↓↑ <b>SP</b> | = <b>SSA</b>   |          |
| Engorgement  |                       |   | ✓ <b>A</b><br>↓↑ <b>E</b><br>= <b>LAC</b>   | ↓↑ <b>NENA</b><br>= <b>SSA</b><br>↓↑ <b>NA</b><br>↓↑ <b>SP</b> |          |

= Stable    ↓↑ Variable    ↗ Amélioration    ✓ Détérioration

Remarque :

**NA** : Amérique du Nord ; **E** : Europe ; **NENA** : Afrique du Proche-Est et du Nord ; **LAC** : Amérique latine et les Caraïbes ; **SSA** : Afrique et le Sud du Sahara ; **SP** : Pacifique du Sud-Ouest ; et **A** : Asie.

Source : FAO/ITPS (2015b, tableau 8, p. 67).

# 1 SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE (SfN) ET LA GESTION DE L'EAU



WWAP | David Coates et Richard Connor

Avec les contributions de : Giuseppe Arduino (UNESCO-PHI) et Kai Schwaerzel (UNU-FLORES)<sup>2</sup>

Reboisement des mangroves



## 1.1 Introduction

Les solutions fondées sur la nature (SfN) sont inspirées et soutenues par la nature et utilisent, ou imitent les processus naturels, afin de contribuer à une meilleure gestion de l'eau. La caractéristique déterminante d'une solution fondée sur la nature (SfN) n'est, par conséquent, pas de savoir si un écosystème utilisé est « naturel », mais si les processus naturels sont gérés de manière proactive pour atteindre un objectif lié à l'eau. Les SfN utilisent les services écosystémiques pour contribuer à un résultat en matière de gestion de l'eau. Les SfN peuvent impliquer la conservation ou la réhabilitation d'écosystèmes naturels ou la mise en valeur ou la création de processus naturels dans des écosystèmes modifiés ou artificiels. Elles peuvent être appliquées à l'échelle micro (par exemple des toilettes sèches) ou macro (par exemple le paysage).

Dans ce rapport, les approches basées sur la nature sont articulées en tant que « solutions » pour signaler leur contribution actuelle et potentielle à la résolution ou au dépassement des principaux problèmes ou défis contemporains de la gestion de l'eau – un objectif principal de la série du *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau* (WWDR). Néanmoins, elles peuvent aussi être utiles lorsqu'il n'existe pas de problème ou de défi critique local lié à l'eau, par exemple en améliorant les avantages communs de la gestion des ressources en eau ou simplement en tant que choix esthétique, même lorsque les gains de productivité sont marginaux.

La reconnaissance du rôle des écosystèmes et le concept ainsi que l'application des SfN dans la gestion de l'eau ne sont certainement pas nouveaux. Le rôle des écosystèmes est ancré dans les sciences hydrologiques

<sup>2</sup> Les avis qui sont exprimés dans ce chapitre n'engagent que le(s) auteur(s) et n'impliquent de la part de l'Université des Nations Unies aucune appréciation favorable ou défavorable.

modernes depuis des décennies. La terminologie des SfN est probablement apparue vers 2002 (Cohen-Shacham et al., 2016), mais l'application des processus naturels à la gestion de l'eau s'étend probablement sur des millénaires. Les éditions précédentes de la série du WWDR n'ont abordé que brièvement les SfN (généralement en utilisant une terminologie différente ; voir ci-dessous). Néanmoins, une attention croissante a rapidement été accordée aux SfN, que ce soit dans les forums politiques ou dans la littérature technique, en partie en réponse au fait que leur potentiel soit sous-estimé.

Le Programme de développement durable à l'horizon 2030, par l'intermédiaire de ses Objectifs de développement durable (ODD), a reflété cela avec l'adoption de la Cible 6.6 (« D'ici à 2020, protéger et restaurer les écosystèmes liés à l'eau, y compris les montagnes, les forêts, les zones humides, les rivières, les aquifères et les lacs ») afin d'appuyer la réalisation de l'objectif n° 6 (« Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau »), y compris en ce qui concerne ses autres cibles relatives à l'eau potable, à l'assainissement, à la qualité de l'eau, à l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau et à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). En réponse, l'édition 2018 du WWDR est consacrée aux SfN et porte une attention particulière à leur rôle dans la contribution à la réalisation du Programme.

Des leçons importantes sont à tirer de l'histoire ancienne et contribuent à définir le contexte de ce rapport. La précarité des relations entre les écosystèmes, l'hydrologie et le bien-être humain est soulignée, par exemple, par les effondrements des premières « grandes civilisations fluviales » du Tigre et de l'Euphrate, du Nil, de l'Indus et du Gange, et du fleuve Jaune (Ito, 1997), qui ont été déclenchés par les changements hydrologiques et la réduction des précipitations pouvant atteindre 30 % dans une partie du globe allant de l'Europe jusqu'à l'Indus (Cullen et al., 2000 ; Weiss et Bradley, 2001). Dans certains cas, la désertification provoquée par les changements hydrométéorologiques a pu être accélérée par des changements dans l'utilisation des terres, y compris le surpâturage du bétail, à mesure que les populations migratoires cherchaient des conditions agricoles plus favorables (Weiss et al., 1993). On trouve trace d'une histoire similaire pour la civilisation Maya d'Amérique centrale, entre 250 et 950 après J.-C. (Peterson et Haug, 2005). Il est certain qu'au cours des deux ou trois derniers millénaires, dans les endroits où l'humanité a modifié les paysages, principalement pour l'agriculture, la dégradation du capital naturel en a découlé et a entraîné invariablement une perte de la capacité productive des terres, menant souvent à la désertification et à l'abandon (Montgomery, 2007). Des parallèles peuvent être effectués avec la situation actuelle. Un ensemble de preuves croissant (voir le Prologue) suggère que, à mesure que l'humanité a commencé à tracer son chemin à travers l'Anthropocène, les changements fondamentaux dans l'état et le fonctionnement des systèmes terrestres ont dépassé la gamme de variabilité vécue dans l'Holocène (Steffen et al., 2015).

## 1.2 Concepts, outils, approches et terminologie compatibles

Il existe un certain nombre d'autres concepts, outils, approches ou terminologie utilisés par divers groupes de parties prenantes ou forums qui sont les mêmes que, semblables à, ou compatibles avec les SfN. Ils visent tous à équilibrer une approche plus technocratique et intégrée des infrastructures, qui a tendance à dominer la gestion des ressources en eau, en reconnaissant la contribution que les écosystèmes peuvent apporter. L'*écohydrologie* est une science intégrative axée sur l'interaction entre l'hydrologie et le biote (voir encadré 1.1). L'*approche écosystémique* est un cadre conceptuel pour résoudre les problèmes liés aux écosystèmes, adopté par la Convention sur la diversité biologique (CDB, 1992) et qui est compatible avec le concept d'*utilisation rationnelle des zones humides* de la Convention de Ramsar sur les zones humides (1971). La gestion écosystémique et l'adaptation ou l'atténuation écosystémique impliquent la conservation, la gestion durable et la restauration des écosystèmes. Les *débits écologiques* décrivent les quantités, la qualité et la structure des débits d'eau nécessaires pour soutenir les écosystèmes d'eau douce et estuariens ainsi que les services écosystémiques qu'ils fournissent. L'*écorestauration*, la *phytorestauration* et la *biorestauration* sont des concepts qui utilisent la restauration d'un écosystème pour rétablir un système diversifié de communautés végétales dans un écosystème particulier afin d'en améliorer les capacités de protection ou de restauration. D'autres concepts, outils et approches liés en partie aux SfN incluent la *restauration écologique*, le *génie écologique*, la *restauration des paysages forestiers*, les *infrastructures vertes ou naturelles*, la *réduction des risques de catastrophe (RRC) fondée sur les écosystèmes* et les *services écosystémiques d'adaptation au climat* (Cohen-Shacham et al., 2016).

Les SfN soutiennent une économie circulaire qui promeut une plus grande productivité des ressources visant à réduire les déchets et à éviter la pollution, y compris par la réutilisation et le recyclage, et qui est restauratrice et régénérative par conception, contrairement à une économie linéaire, qui est un modèle de production basé sur le fait de prendre, de fabriquer et de disposer. Les SfN soutiennent également les concepts de *croissance verte* ou d'*économie verte*, qui promeuvent l'utilisation durable des ressources naturelles et exploitent les processus naturels pour soutenir les économies.

Les SfN reconnaissent les écosystèmes en tant que *capital naturel*, soit les réserves de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables (par exemple les plantes, les animaux, l'air, l'eau, les sols et les minéraux) qui se combinent pour produire un flux d'avantages pour les populations (adapté de Jansson et al., 1994 ; Atkinson et Pearce, 1995). Le *Protocole du Capital Naturel*<sup>3</sup> est de plus en plus reconnu par un large éventail de parties prenantes, y compris les entreprises, et appuie l'utilisation des SfN en mettant l'accent sur le flux d'avantages qui peuvent provenir

<sup>3</sup> Plus d'informations sur le capital naturel et le Protocole du Capital Naturel sont disponibles à l'adresse [naturalcapitalcoalition.org/protocol/](http://naturalcapitalcoalition.org/protocol/).

## ÉCOHYDROLOGIE

L'écohydrologie est une science intégrative axée sur l'interaction entre l'hydrologie et le biote. Elle vise à renforcer les services écosystémiques dans les paysages modifiés afin de réduire les impacts anthropiques. Les approches holistiques qui prennent en charge l'hydrologie et le biote visent à assurer à la fois la durabilité des écosystèmes et des populations humaines, et à améliorer la gestion intégrée des ressources en eau. L'écohydrologie fournit des connaissances de base et des outils appliqués afin d'atteindre l'ODD n° 6 sur l'eau.

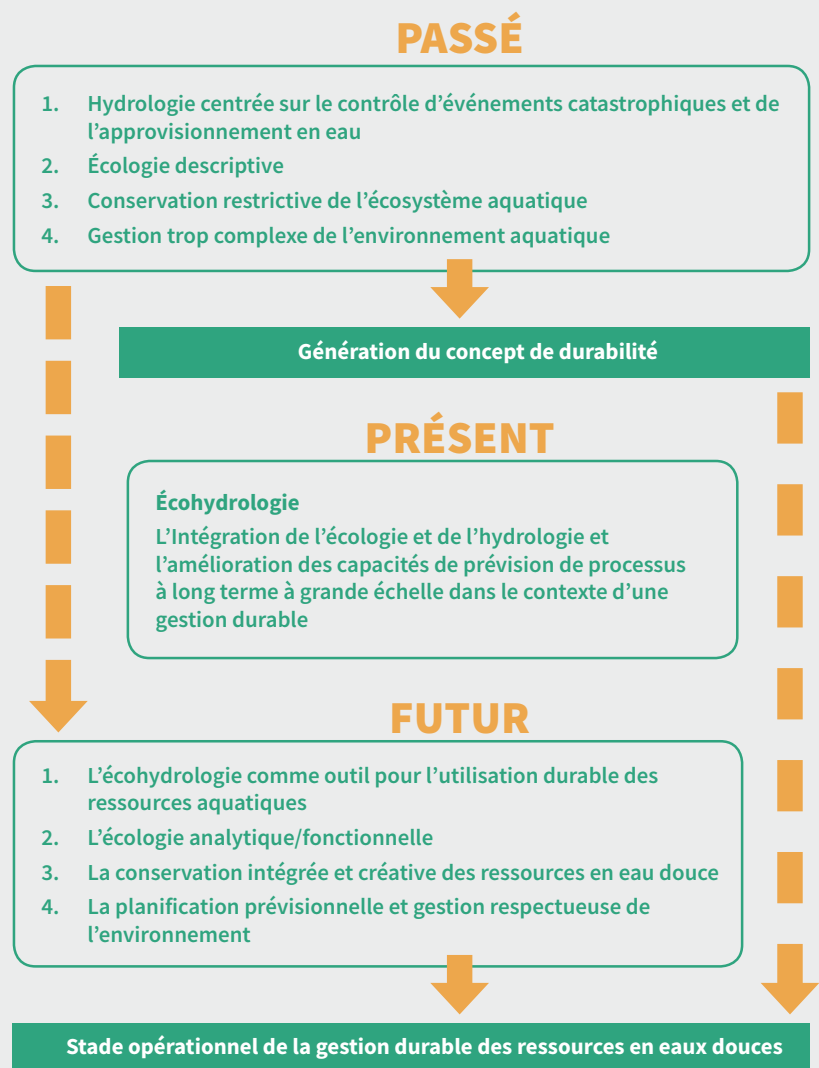
L'écohydrologie favorise l'intégration d'un bassin versant et de son biote en une seule entité, et l'utilisation des propriétés des écosystèmes devient un outil de gestion au sein duquel l'écohydrologie peut traiter des aspects fondamentaux de la gestion des ressources en eau. Elle fournit une base scientifique solide pour l'adoption d'un bassin hydrographique comme unité de planification de base. En incorporant le concept d'amélioration de la résilience des écosystèmes en tant qu'outil de gestion, l'écohydrologie renforce le bien-fondé de l'adoption d'une approche préventive et holistique du bassin hydrographique – par opposition à l'approche réactive, sectorielle et spécifique au site, typique des pratiques actuelles concernant la gestion des ressources en eau. Dans le même temps, l'écohydrologie souligne l'importance des mesures écotecnologiques en tant que partie intégrante de la gestion de l'eau, en complément des approches techniques standard (Zalewski, 2002). En outre, Mitsch et Jørgensen (2004) ont développé l'application du génie écologique, comme par exemple la gestion des zones humides pour la purification de l'eau à partir de charges excessives de nutriments sur la base de la théorie écologique et de la modélisation mathématique.

L'écohydrologie constitue un facteur d'accélération dans la transition entre l'écologie descriptive, la conservation restrictive et la gestion trop complexe des écosystèmes aquatiques, et l'écologie analytique ou fonctionnelle, ainsi que la gestion créative et la conservation des eaux douces (Zalewski et al., 1997).

Depuis 2011, le Programme hydrologique international de l'UNESCO a encouragé la création de divers sites de démonstration à travers le monde pour appliquer des solutions systémiques d'écohydrologie dans les bassins hydrographiques à toutes les échelles. Un site de démonstration applique l'écohydrologie à ses objectifs de gestion de la concentration polluants et de nutriments, d'amélioration de la qualité de l'eau, d'atténuation des inondations, de réduction de la capacité de rétention de la végétation, etc. Les processus hydrologiques et écologiques sont étudiés depuis les processus moléculaires (processus microbiens) jusqu'aux échelles des bassins versants dans les habitats aquatiques tels que les zones humides, les marais, les mangroves et les rivières, depuis les sources jusqu'aux plaines et les zones côtières, afin de trouver des solutions à long terme qui intègrent les composantes sociales. Les sites de démonstration intègrent le concept de renforcement du potentiel écosystémique, par l'application de stratégies écohydrologiques, pour assurer la durabilité des écosystèmes liés à l'eau et améliorer la gestion intégrée des ressources en eau. C'est ce qu'on appelle le WBSRC (*W-water, B-biodiversity, S-ecosystem services, R-resilience, C-culture or social dimension*), qui contient les cinq éléments à prendre en considération pour renforcer la capacité de charge des écosystèmes modifiés.

Contribution du UNESCO-PHI.

Figure | Écohydrologie : Passé, présent, futur



Source : Zalewski et al. (1997, fig. 2, p. 13).



Les SFN ont tendance à être en accord avec les lois coutumières et le savoir traditionnel/local qui peuvent être important au niveau local

de l'utilisation de la nature. Grâce à un processus rigoureux et structuré, le cadre aide à organiser, identifier, mesurer et valoriser les impacts et les dépendances sur le capital naturel et peut stimuler l'investissement dans les SfN.

Les SfN sont également cohérentes avec, si ce n'est essentielles à, de nombreuses croyances religieuses, culturelles ou totémiques qui accentuent les conceptions relatives à la nature plutôt que les décisions de gestion motivées par une approche technocratique. Les SfN reflètent un paradigme mondial adopté par des chefs profanes et spirituels qui déclarent généralement que le fait de dépasser les limites de la nature représente un péché (ou équivalent). Par exemple, les valeurs que l'on trouve dans la plupart des religions, dont l'Islam, le bouddhisme, le zoroastrisme, le judaïsme et le christianisme, prônent l'égalité entre l'Homme et la nature ainsi qu'un usage approprié plutôt qu'un usage excessif et une purification après l'usage (Taylor, 2005). De même, la *Terre nourricière* ou *Mère Nature* sont des expressions métaphoriques courantes pour désigner la Terre et sa biosphère comme celle qui donne et nourrit la vie. Ces concepts peuvent être importants à l'échelle locale, nationale ou régionale et peuvent prendre le dessus sur les approches scientifiques et technologiques. Étant donné que ce rapport soutient que les SfN devraient également se baser sur des données scientifiques et économiques solides, elles constituent un pont entre ces paradigmes traditionnels et modernes. Cela peut, entre autres, faire des chefs religieux, culturels et totémiques de puissants alliés dans l'affectation des SfN.

Les SfN ont tendance à être en accord avec les lois coutumières et le savoir traditionnel/local qui peuvent être important au niveau local. *L'approche fondée sur les droits de l'homme* pour la gestion et la gouvernance des ressources en eau peut également être conforme aux SfN, notamment en se concentrant sur les lois coutumières. Des questions additionnelles de droits qui doivent être prises en compte comprennent la reconnaissance des droits collectifs des peuples autochtones sur les terres, les territoires et les ressources naturelles qu'ils ont traditionnellement occupés et utilisés, leurs droits au développement et les impacts de l'adaptation et de l'atténuation des changements climatiques (voir la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones).

## 1.3 Comment fonctionnent les SfN ?

### 1.3.1 Le rôle des écosystèmes dans le cycle de l'eau

Les propriétés physiques, chimiques et biologiques des écosystèmes affectent tous les chemins hydrologiques au cours du cycle de l'eau (voir figure 1.1). Dans un paysage, et particulièrement dans les sols, les processus biologiques influent sur la qualité de l'eau, étant donné qu'elle passe par un système, tout comme la formation des sols, l'érosion, ainsi que le transport et le dépôt des sédiments – tous ces éléments pouvant exercer une influence importante sur l'hydrologie. D'importants flux énergétiques sont également associés à ce cycle contrôlé par la nature : par exemple, la chaleur latente impliquée dans l'évaporation peut exercer un effet rafraîchissant et constitue une base pour les SfN dans le but de réguler, par exemple, les climats urbains.

### 1.3.2 Composantes principales de l'écosystème impliquées

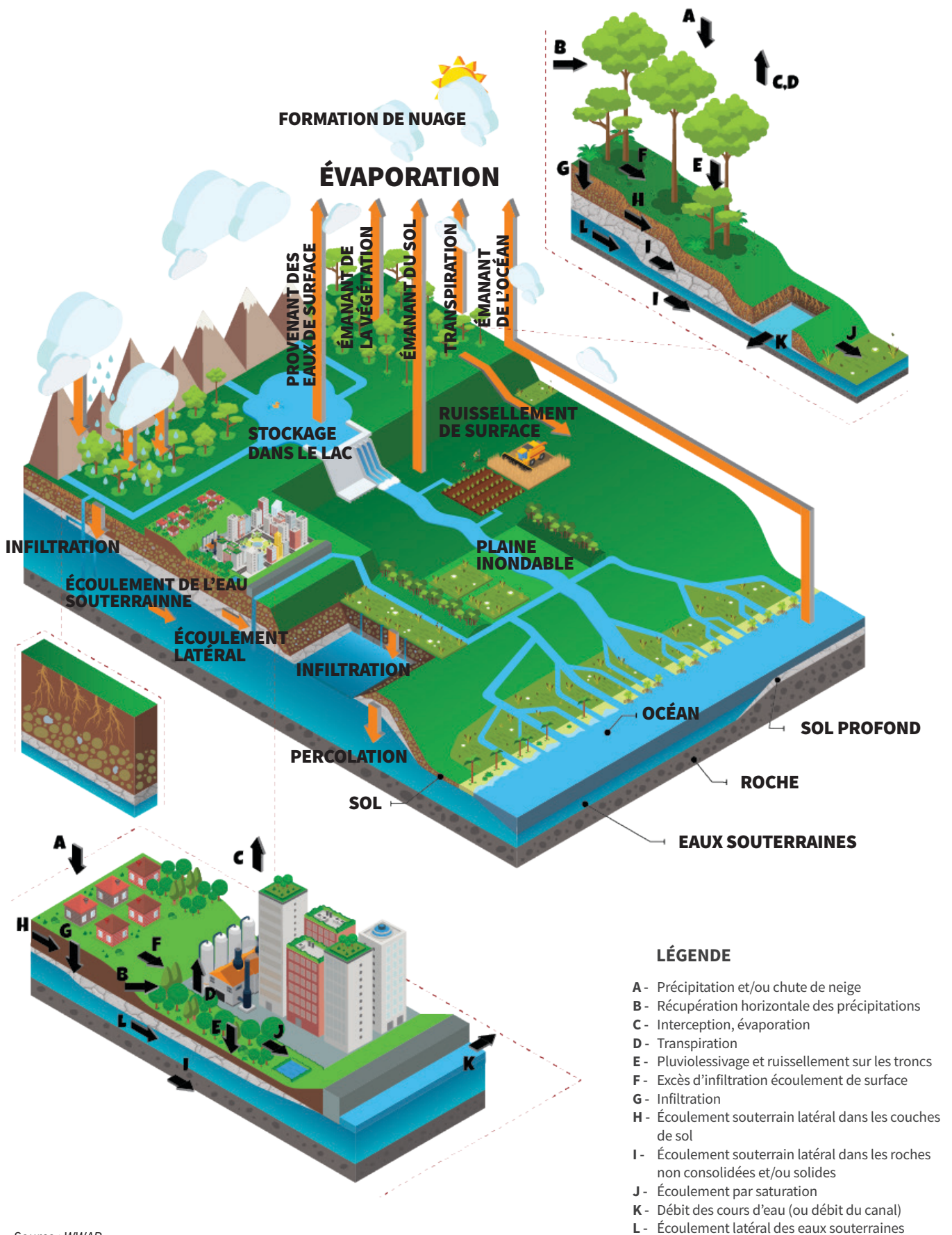
Tous les types d'écosystèmes ou de biomes terrestres, et la plupart de ceux de type côtier, ont une influence sur l'eau. L'essentiel des demandes de SfN, y compris en milieu urbain, impliquent principalement la gestion de la végétation, des sols et des zones humides (y compris des rivières et des lacs).

#### *Végétation*


Les plantes représentent environ 72 % de la masse terrestre globale (FAO/GTIS, 2015a). Les tiges et les feuilles des plantes interceptent les précipitations (pluie ou neige) ou l'humidité provenant des nuages. Les plantes ont un effet sur la disponibilité de l'eau et le climat à travers leurs fonctions de transpiration et extraient par conséquent de l'eau des sols et parfois des eaux souterraines. Les racines des plantes participent à la structure et à la santé du sol et influent par conséquent sur le stockage et la disponibilité de l'eau dans le sol, sur l'infiltration et la percolation dans les eaux souterraines. Dans tous les paysages, sauf les plus secs ou gelés, la sénescence naturelle des plantes forme une couche critique de matière organique recouvrant le sol, qui régule l'érosion et l'évaporation du sol.

Les paysages ont tendance à inclure une variété de catégories de couvertures végétales, chacune d'entre elles pouvant avoir différents degrés d'influence sur le cycle de l'eau, lequel est également influencé par le régime de gestion en place. Les forêts, par exemple, reçoivent souvent la plus grande attention en ce qui concerne la couverture terrestre et l'hydrologie, mais les prairies et les terres cultivées sont également très importantes. Bien que les forêts soient largement utilisées avec succès comme solutions de restauration, la restauration des prairies et des arbustes dans par exemple le plateau de Loess, en Chine, s'est avérée plus efficace en ce qui concerne le stockage de l'humidité du sol et la conservation des sols, que le reboisement à cet endroit (Chen et al., 2010; Zhang et al., 2015). Les prairies naturelles ont également tendance à produire de l'eau de haute qualité. Néanmoins, en ce qui concerne les prairies sur lesquelles de l'engrais a

Figure 1.1 Chemins hydrologiques généralisés dans un paysage naturel et en milieu urbain



Source : WWAP.



La santé des sols, en particulier leur capacité à soutenir le cycle des nutriments, a une influence majeure sur la qualité de l'eau, notamment dans les systèmes agricoles

été épandu (comme en Europe occidentale et aux États-Unis, par exemple), d'importantes charges d'azote et de phosphore dans le ruissellement de surface, constituent un problème important (Hahn et al., 2012). Cela exige l'adoption d'une approche paysagère de l'hydrologie où la couverture et la gestion terrestre constituent le centre de l'attention et sont toutes deux considérées en fonction du rendement paysager souhaité. Surtout, les terres nues (à moins qu'elles ne soient naturelles, comme dans les déserts ou les calottes glaciaires, par exemple) doivent être évitées, car elles contribuent de manière importante à la dégradation des sols et des terres, y compris à l'érosion accrue et à la diminution de la productivité de l'eau (FAO/GTIS, 2015a).

### Sols

Les sols jouent un rôle majeur et souvent sous-estimé dans le mouvement, le stockage et la transformation de l'eau. Les sols impliquent des systèmes vivants complexes et leurs processus hydrobiologiques sont étroitement en lien avec leur santé écologique. La quantité d'eau qui s'infiltre, s'évapore ou qui se répand dans le sol dépend non seulement de la végétation et du climat, mais aussi de la géométrie de l'espace interstitiel du sol, et par conséquent de la structure de celui-ci. En outre, les conditions à la surface du sol (couverture végétale, structure du sol, etc.) contrôlent la répartition des précipitations dans le ruissellement de surface et l'infiltration. Dans la zone racinaire, l'eau infiltrée est ensuite séparée entre évaporation et transpiration d'une part, et percolation profonde d'autre part. Il est reconnu que les changements dans la gestion et la couverture des sols affectent la structure du sol et modifient par conséquent ses propriétés. Par exemple, dans un cas extrême, l'imperméabilisation des sols par les routes et d'autres infrastructures urbaines amoindrit complètement l'hydrologie du sol, entraînant une perte d'infiltration et, par conséquent, le détournement des précipitations vers le ruissellement de surface, ce qui contribue souvent aux inondations. En outre, la santé des sols, en particulier leur capacité à soutenir le cycle des nutriments, a une influence majeure sur la qualité de l'eau, notamment dans les systèmes agricoles (FAO, 2011b).

Le système sol-végétation est le premier récepteur des précipitations et de l'énergie qui tombent sur la terre. La zone située entre les plages supérieures de la nappe souterraine (ou racine crustale) et celle située juste au-dessus de la couche sol-végétation a un rôle primordial dans le contrôle de la quantité et de la qualité de l'eau terrestre (FAO/GTIS, 2015a). Environ 65 % de l'eau tombant sur la terre est soit stockée, soit évaporée à partir du sol et des plantes (Oki et Kanae, 2006). De l'eau emmagasinée sur terre, plus de 95 % est stockée dans les zones vadose (peu profondes) et saturée (eaux souterraines) du sol, à l'exception de l'eau encore retenue dans les glaciers (Bockheim and Gennadiyev, 2010). Bien que l'eau du sol dans la couche supérieure, plus active sur le plan biologique, ne représente que 0,05 % des réserves mondiales d'eau douce (FAO/GTIS, 2015a), les flux ascendants et descendants d'eau et d'énergie à travers le sol sont vastes et fortement liés. Ces chiffres indiquent clairement l'importance de l'eau du sol pour l'équilibre terre-eau-énergie, notamment l'échange entre l'eau du sol et les précipitations par l'intermédiaire de la transpiration, et une rétroaction positive potentielle à mesure que le climat se réchauffe (Huntington, 2006).

### Zones humides

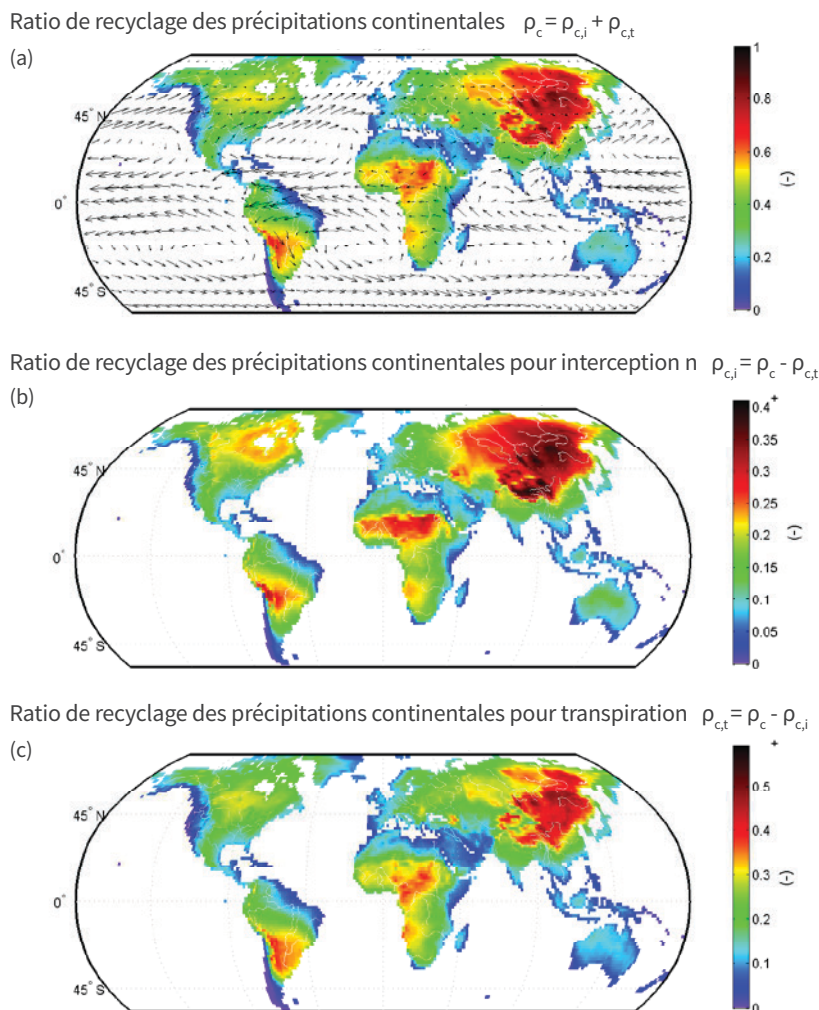
Même si seulement 2,6 % des terres sont couvertes par des masses d'eau intérieures (FAO/GTIS, 2015b), ces zones humides, y compris les rivières et les lacs<sup>4</sup>, jouent un rôle dont l'importance est disproportionnée au regard de l'hydrologie par unité de surface. Les arguments en faveur de la conservation des zones humides sont souvent présentés en termes de processus hydrologiques, y compris la recharge et le déversement des eaux souterraines, l'altération du débit des inondations, la stabilisation des sédiments et la qualité de l'eau (Maltby, 1991). Les zones humides côtières jouent également un rôle important dans la RCC liées à l'eau : les mangroves, par exemple, et dans une moindre mesure, les marais salants, peuvent réduire l'énergie des vagues et des courants, stabiliser les sédiments avec leurs racines et réduire le risque d'inondation dû aux ondes de tempête.

### 1.3.3 L'utilisation des terres et les changements d'affectation des terres

L'utilisation des terres et les changements d'affectation des terres (UTCAT) directement provoqués par l'homme tiennent compte de l'influence des composantes terrestres (y compris de la couverture terrestre – par exemple la forêt naturelle par rapport aux terres cultivées) des écosystèmes et, dans

<sup>4</sup> La Convention de Ramsar sur les zones humides (1971) adopte une définition extrêmement large des zones humides : « étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Article 1). Cette définition est également adoptée par la Convention sur la diversité biologique (CDB, 1992) et est, par conséquent, celle utilisée dans le présent rapport. Le terme « zones humides » englobe donc entre autres les rivières, les lacs, les bassins de retenue, les mangroves et les sols saturés en permanence (notamment les tourbières). Toutefois, la terminologie varie d'un pays et d'un groupe d'utilisateurs à l'autre, beaucoup ne considérant les zones humides que comme des zones naturelles peu profondes et fortement végétalisées, comme les « marécages », les « bourbiers » et les « marais », etc. Par conséquent, il faut être prudent lorsque l'on parle de « zones humides » en général ou d'un sous-ensemble de zones humides – avec réserve, le cas échéant.

**Figure 1.2** Recyclage des précipitations continentales, 1999–2008



Remarque : L'échelle de couleurs de (b) se termine à 0,41, soit la fraction moyenne globale des flux d'évaporation directe (interception) ; l'échelle de couleurs de (c) se termine à 0,59, soit la fraction moyenne globale du flux d'évaporation retardé (transpiration). Les flèches en (a) indiquent les flux d'humidité intégrés verticalement.

Source : Van der Ent et al. (2014, fig. 2, p. 477).

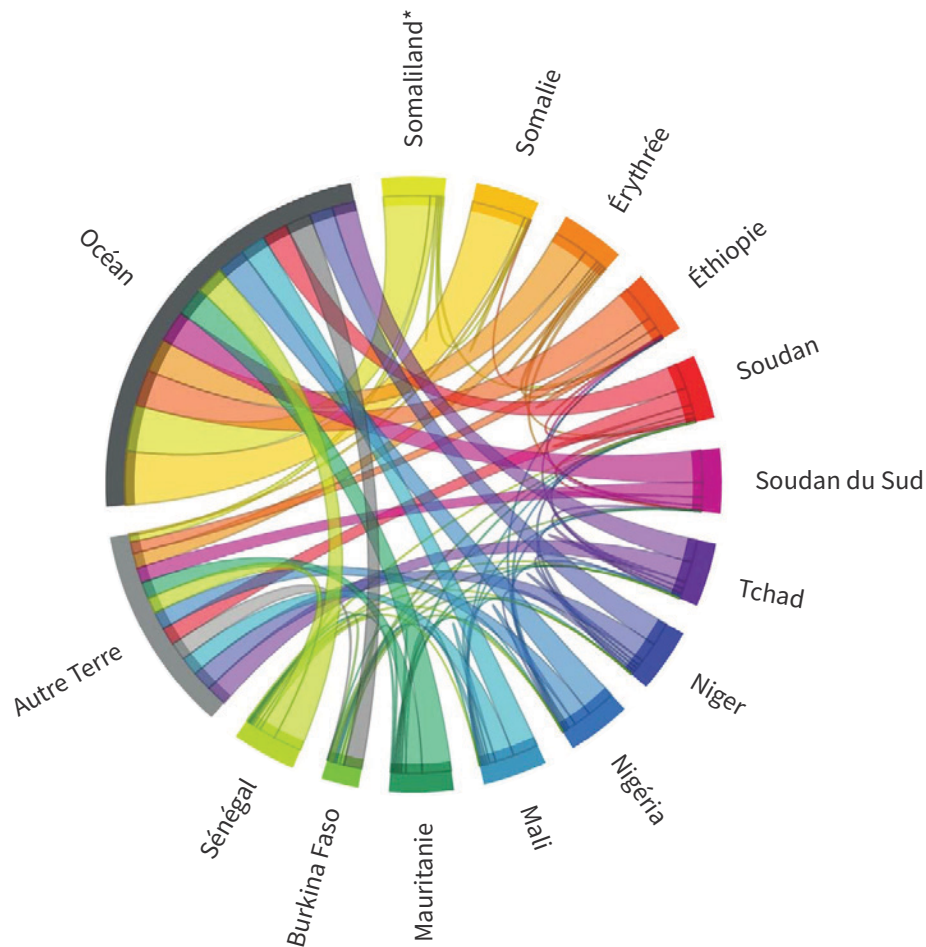
certains cas, des zones humides, sur l'hydrologie. L'UTCAT sont des facteurs importants des cycles de l'eau à l'échelle locale, régionale et continentale.

Les écosystèmes apportent d'importantes contributions au recyclage des précipitations à l'échelle locale et continentale. À l'échelle mondiale, jusqu'à 40 % des précipitations terrestres viennent de l'évaporation des plantes au vent et d'autres processus d'évaporation du sol, cette dernière représentant plus de la moitié des précipitations dans certaines régions, le reste provenant des océans (Keys et al., 2016). La contribution de la végétation aux précipitations locales peut être bien plus importante. Des zones où la végétation est la principale ou la seule source locale d'eau de surface existent même, comme dans le cas de la végétation capturant l'eau des nuages en l'absence saisonnière de précipitations locales (Hildebrandt et Eltahir, 2006). Plutôt que d'être considérée comme une « consommatrice » d'eau, la végétation devrait plutôt être perçue comme une « recycleuse » d'eau (Aragão, 2012).

À l'échelle locale, la gestion des cultures et du sol dans les champs a une influence majeure sur l'hydrologie locale des champs (FAO, 2011b). En dehors de leur étendue, toutes les terres cultivées et les pâturages font notamment l'objet d'une gestion active et généralement intensive. Parmi les facteurs qui influencent l'hydrologie des terres cultivées, on trouve le type de culture et l'utilisation de produits chimiques, l'espacement et la rotation des cultures, et surtout la perturbation du sol par le travail du sol. Tous ces facteurs peuvent être ajustés afin de gérer, entre autres facteurs, la disponibilité de l'eau des cultures, la recharge des eaux souterraines, les taux d'évaporation, le ruissellement de surface, l'érosion et la disponibilité des nutriments des plantes, et d'avoir des effets importants sur la disponibilité et la qualité de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur des fermes, y compris à l'échelle du paysage (FAO, 2011b).

Le recyclage des précipitations à l'échelle continentale est illustré à la figure 1.2. D'autres exemples incluent l'évaporation dans le bassin du Congo, qui est une source

**Figure 1.3** Sources de précipitations pour la région du Sahel



\* Le Somaliland est une région autonome de la Somalie, dépendant du gouvernement fédéral de Somalie.

Remarque : La largeur du flux correspond à la part de précipitations recensée dans le pays ou le territoire. La couleur d'un flux correspond au pays ou au territoire au sein duquel ce flux d'humidité est tombé sous la forme de précipitations. Lorsque deux pays ou territoires échangent de l'humidité entre eux, la couleur de ce flux correspondra au pays ayant reçu la part la plus importante de précipitations nettes. En partant de l'océan, les pays ou les territoires sont listés dans le sens des aiguilles d'une montre, d'est en ouest.

Source : Keys et al. (2017, Fig. 6, p. 18). © 2017 Reproduit avec la permission d'Elsevier.

majeure de précipitations pour la région du Sahel, et le bassin de la Plata en Uruguay et en Argentine, où 70 % des précipitations proviennent de l'évaporation de la forêt amazonienne (Van der Ent et al., 2010). De ce fait, la déforestation et d'autres UTCAT de celles-ci ayant une influence sur le cycle hydrologique amazonien menacent la production agricole en dehors de l'Amazonie (Nobre, 2014). De la même façon, le golfe de Guinée et l'humidité en provenance d'Afrique centrale jouent un rôle important dans la génération de flux pour le Nil en passant par les plateaux d'Éthiopie (Viste et Sorteberg, 2013). L'enlèvement de la végétation a probablement les impacts les plus graves sur les précipitations dans les zones plus sèches, contribuant à la raréfaction de l'eau, à la dégradation des terres et à la désertification dans ces zones (Keys et al., 2016).

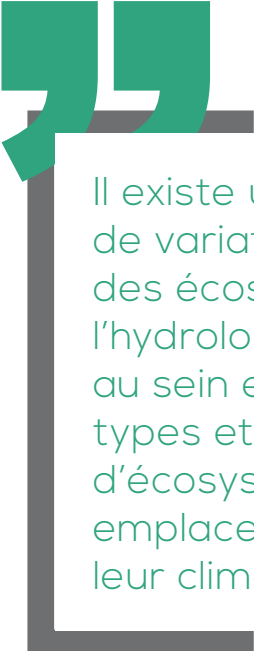
Les décisions concernant l'utilisation des terres en un lieu précis peuvent donc avoir des conséquences importantes pour les ressources en eau, la population, l'économie et l'environnement dans des endroits éloignés. Le recyclage des précipitations crée des interdépendances entre pays qui ne doivent pas nécessairement être adjacents les uns aux autres ni partager le même bassin (voir figure 1.3). L'influence de l'UTCAT sur le mouvement de l'humidité et les précipitations ultérieures remet en question l'utilisation du « bassin hydrographique » comme unité commune de gestion. Le bassin hydrographique en tant qu'unité s'applique mieux à la gestion des eaux de surface et des eaux souterraines, mais les récents progrès de l'hydrologie ont révélé des « bassins versants atmosphériques », aussi appelés « bassins à précipitations » (*precipitationsheds*) (Keys et al., 2017).

### 1.3.4 Les variations hydrologiques au sein et entre les types d'écosystèmes

Il existe un degré élevé de variation des impacts des écosystèmes sur l'hydrologie, à la fois au sein et entre les types et sous-types d'écosystèmes, leur emplacement et leur état, leur climat et leur gestion. Cela nous met en garde contre l'utilisation de généralités au sujet des SfN, étant donné que des connaissances spécifiques par site sont nécessaires au sujet de leur déploiement sur le terrain. Par exemple, les arbres peuvent accroître ou diminuer la recharge des eaux souterraines en fonction du type d'arbre, de la densité et du lieu (Borg et al., 1988 ; Ilstedt et al., 2016). Les relations entre l'arbre, le sol et l'humidité, et les eaux souterraines, dépendent également de la taille et de l'âge des arbres en question (Dawson, 1996). Les forêts possèdent généralement des taux d'évaporation bien plus élevés que les prairies, où les précipitations dépassent 2 000 mm par an, mais des taux comparables dans les lieux où les précipitations ne dépassent pas 500 mm par an (Zhang et al., 2001). Il est notoire que les zones humides « agissent comme des éponges », atténuant ainsi les inondations et prévenant les sécheresses, bien que des zones humides situées en amont puissent accroître les inondations en aval (Bullock et Acreman, 2003). La performance hydrologique des sols varie également fortement en fonction des types de sols, de leur état et de leur gestion (FAO/GTIS, 2015a). On ne devrait pas considérer que des écosystèmes « naturels » sont nécessairement plus performants en ce qui concerne l'hydrologie. Cela dépend beaucoup de l'utilisation d'une zone ou d'un paysage, y compris les bienfaits non-hydrologiques et la manière dont ceux-ci couvrent les dépenses générales de gestion.

### 1.3.5 Le rôle de la biodiversité

La biodiversité concerne les SfN de deux manières. Premièrement, la biodiversité possède un rôle fonctionnel dans les SfN selon lequel elle soutient les processus et les fonctions écosystémiques et, par conséquent, la fourniture de services écosystémiques (Hooper et al., 2005). Le biote du sol constitue, par exemple, une communauté vivante importante dans le système du sol, et fournit un large éventail de services essentiels au sol en adaptant la capacité métabolique et les fonctions du sol (Van der Putten et al., 2004). Les réductions de la biodiversité du sol ont tendance à être associées à des impacts négatifs sur le carbone organique, l'humidité et l'infiltration dans le sol, et, par conséquent, le ruissellement, l'érosion et la recharge des eaux souterraines (FAO, 2011b). Collectivement, elles influencent la qualité de l'eau, notamment en ce qui concerne les charges en nutriments et la sédimentation (FAO/GTIS, 2015a). De même, les forêts, les prairies et les zones humides dans leur état naturel ont tendance à être plus diversifiées en termes de biodiversité, à avoir des profils hydrologiques différents et à fournir de meilleurs services écosystémiques globaux que dans un état aménagé ou perturbé. La biodiversité optimise également la résilience, ou la capacité d'un système à se remettre de pressions externes telles que les sécheresses ou les erreurs de gestion (Fischer et al., 2006).



Il existe un degré élevé de variation des impacts des écosystèmes sur l'hydrologie, à la fois au sein et entre les types et sous-types d'écosystèmes, leur emplacement et leur état, leur climat et leur gestion

Deuxièmement, les SfN sont liés à la biodiversité compte tenu de son rôle dans la réalisation des objectifs de « conservation » de cette dernière, indépendamment de son rôle fonctionnel en ce qui concerne l'eau. Étant donné que les SfN reposent sur l'amélioration de l'étendue, de l'état ou de la santé des écosystèmes, elles tendent généralement à soutenir la conservation de la biodiversité comme avantages partagés. Ce n'est toutefois pas toujours le cas. Par exemple, l'utilisation d'une zone humide naturelle existante afin de faire face aux charges excessives de nutriments modifierait certainement ses caractéristiques écologiques et, par conséquent, la biodiversité qu'elle abrite. Le fait de savoir si cela doit être effectué dépend de la capacité d'accueil potentielle de la zone humide, des points de non-retour potentiels de l'écosystème et des caractéristiques et utilisations voulus de la zone humide (WWAP, 2017). En Europe, la restauration de terres agricoles sous-exploitées dans des espaces plus naturels, par exemple en tant que zones riveraines protégeant les rivières ou pour améliorer les services des bassins versants, peut conduire à une perte de biodiversité unique dans les cas où l'agriculture était nécessaire pour la maintenir (CDB, 2015). Ces observations mettent en garde contre la nécessité, le cas échéant, d'inclure la biodiversité dans les évaluations d'impact des SfN et, le cas échéant, les mesures de sauvegarde de la biodiversité dans les utilisations des SfN.

### 1.3.6 Fonctions, processus et avantages des écosystèmes pour les populations (services écosystémiques)

Les processus et les fonctions des écosystèmes relatifs à l'eau peuvent être gérés de manière à fournir des avantages aux populations en tant que « services écosystémiques ». Tous les services écosystémiques dépendent de l'eau, mais il existe des services écosystémiques spécifiques qui influent directement sur la disponibilité et la qualité de l'eau, qui sont désignés, par exemple, comme des services des bassins hydrographiques (Stanton et al., 2010), des services relatifs à l'eau (Perrot-Maître et Davies, 2001) ou des services écosystémiques liés à l'eau (Coates et al., 2013). Certains de ces services clés apparaissent dans le tableau 1.1.

**Tableau 1.1 Exemples de services écosystémiques et de certaines de leurs fonctions**

| Catégorie des services écosystémiques   | Exemples de fonctions et d'avantages des écosystèmes  |
|---|---|
| <b>Services écosystémiques liés à l'eau*</b>  |   |
| <i>Fourniture des services – Produits issus des écosystèmes</i>                                   |   |
| Approvisionnement en eau douce  | Fourniture d'eau douce pour la consommation humaine et les besoins humains  |
| <i>Services de régulation – Avantages découlant de la régulation des processus écosystémiques</i> |   |
| Régulation de l'eau   | Régulation de la présence de l'eau dans le temps et dans l'espace – rejet/recharge des eaux de surface et des eaux souterraines   |
| Régulation de l'érosion   | Stabilisation des sols (établit des liens vers la régulation des catastrophes naturelles et soutient les services d'approvisionnement)  |
| Régulation des sédiments  | Régulation de la formation et de l'écoulement des sédiments entraînés par l'eau à travers le système, y compris le dépôt pour l'entretien des zones humides et les terres bâties  |
| Purification de l'eau et traitement des déchets   | Absorption, traitement et rétention des nutriments et de la pollution, dépôt des particules   |
| Régulation des catastrophes naturelles  | Réduction des risques de catastrophes liées à l'eau   |
| – Protection côtière  | – Atténue/dissipe les ondes, sert de paravent   |
| – Protection contre l'inondation  | – Stocke l'eau ou ralentit l'écoulement de l'eau afin de réduire les pointes de crue  |
| – Protection contre la sécheresse   | – Protection contre la sécheresse   |
| Régulation du climat/recyclage de l'humidité  | Influence les précipitations et l'humidité aux niveaux local et régional et les effets de refroidissement local/régional par l'évaporation  |
| <b>Services écosystémiques tributaires de l'eau (autres services ou avantages connexes)**</b>     |   |
| <i>Fourniture des services – Produits issus des écosystèmes</i>                                   |   |
| Aliments et fibres  | Ressources halieutiques, produits agricoles, produits forestiers non ligneux  |
| Énergie   | Hydroélectricité et bioénergie  |
| Ressources génétiques   | Source de matières génétiques, par exemple pour l'agriculture, les médicaments  |
| Produits biochimiques, médicaments naturels, produits pharmaceutiques                             | Produits chimiques, médicaments et produits pharmaceutiques issus de matières vivantes  |
| <i>Services de régulation – Avantages découlant de la régulation des processus écosystémiques</i> |   |
| Régulation de la qualité de l'air   | Recyclage du dioxyde de carbone et de l'oxygène, contrôle de la pollution atmosphérique   |
| Régulation du climat  | Séquestration du carbone – régulation des émissions de gaz à effet de serre et des charges dans l'atmosphère  |
| Régulation des ravageurs et des maladies  | Influence l'existence, la portée et la gravité des ravageurs et maladies qui menacent les plantes et les animaux.<br><br>La gestion intégrée des ravageurs qui améliore la régulation naturelle des ravageurs peut contribuer à réduire l'utilisation des pesticides, améliorant ainsi la qualité de l'eau et la condition du sol ainsi que son rôle dans le cycle de l'eau |
| Pollinisation   | Soutien à la pollinisation des plantes par les animaux afin d'entretenir la production des cultures et la biodiversité  |
| <i>Services de soutien – Services nécessaires pour la fourniture de tous les autres services</i>  |   |
| Recyclage des nutriments  | Maintient le fonctionnement global de l'écosystème  |
| Production primaire   | Soutient toute vie sur terre  |
| Formation des sols  | Maintient la production régulière des sols afin de favoriser l'essentiel des autres services écosystémiques terrestres  |
| <i>Services culturels – Avantages non matériels qui peuvent être tirés des écosystèmes</i>        |   |
| Valeurs spirituelles, religieuses et totémiques   | Croyances qui dépendent de l'existence des écosystèmes (nature)   |
| Valeurs esthétiques   | Avantages qui découlent du fait que les écosystèmes soient considérés comme beaux, attrayants ou appréciés du point de vue visuel, etc.   |
| Loisir et écotourisme   | Avantages socioéconomiques (par exemple moyens de subsistance) basés sur le tourisme et le loisir, notamment le sport (par exemple pêche de loisir)   |

\*Les services écosystémiques liés à l'eau sont ceux qui influent directement sur la quantité et la qualité de l'eau et qui sous-tendent donc les SfN.

\*\*Les services écosystémiques tributaires de l'eau sont ceux qui dépendent de l'eau mais qui ne jouent aucun rôle, ou un rôle limité, dans la quantité ou la qualité de l'eau et qui font partie des avantages concomitants des SfN.

Sources : Basé sur l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (2005) et Russi et al. (2012).

Par souci de simplicité, les services écosystémiques liés à l'eau peuvent être regroupés avec ceux liés au *mouvement* de l'eau (par exemple l'évaporation, l'écoulement et l'infiltration dans le sol), au *stockage* de l'eau (principalement dans les sols, les eaux souterraines et les zones humides) ou à la *transformation* de l'eau, y compris sa qualité (Acreman et Mountford, 2009). Ces éléments renforcent les trois dimensions des liens aux ressources en eau de la plupart, sinon de tous les secteurs et problèmes : disponibilité de l'eau (approvisionnement ou quantité), qualité de l'eau, et gestion des risques et des extrêmes (y compris les risques de catastrophes liées à l'eau). Par conséquent, les chapitres 2, 3 et 4 du présent rapport explorent la manière dont les SfN aident les services écosystémiques à contribuer à la gestion de l'eau dans chacun de ces trois domaines et contribuent de manière significative aux principaux défis de la gestion des ressources en eau, y compris la qualité de l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène (WaSH), la sécurité hydrique pour la sécurité alimentaire et l'agriculture durable, la construction d'établissements urbains durables, la gestion des eaux usées, la RRC, la dégradation des terres, la sécheresse et la désertification, et l'adaptation aux changements climatiques (et leur atténuation).

Les services écosystémiques tributaires de l'eau comprennent les produits obtenus directement des écosystèmes (par exemple les aliments, les fibres et l'énergie), les avantages découlant des processus écosystémiques (par exemple la qualité de l'air et la régulation du climat), les services de soutien (par exemple le cycle des nutriments et la formation des sols) et les services culturels (par exemple les loisirs).

Les contextes sociaux et économiques dans lesquels les services écosystémiques sont définis sont importants pour l'élaboration d'une SfN correspondant aux besoins de la société mais pouvant aussi être mise en œuvre de manière efficace. Par exemple, lorsque la restauration des écosystèmes est proposée pour remédier à un problème causé par la perte antérieure de services écosystémiques, il est essentiel de savoir quels facteurs, à la fois directs et indirects, ont causé la perte en question. À moins que l'on puisse s'attaquer à ces facteurs, il est peu probable que la SfN soit efficace.

### 1.3.7 Infrastructure verte

L'*infrastructure verte* (pour l'eau) désigne les systèmes naturels ou semi-naturels qui fournissent des options de gestion des ressources en eau dont les avantages sont équivalents ou similaires à ceux des infrastructures d'eau grises conventionnelles (construites/physiques). Une infrastructure verte constitue l'application d'une SfN. Les termes *infrastructure écologique* et *infrastructure naturelle* sont souvent employés afin de décrire des ressources similaires. Généralement, les solutions d'infrastructure verte impliquent un effort délibéré et conscient d'utiliser les services écosystémiques en vue de fournir des avantages primaires en matière de gestion de l'eau ainsi qu'un large éventail d'avantages partagés secondaires, en utilisant une approche plus holistique (UNEP-DHI/UICN/The Nature



Les contextes sociaux et économiques dans lesquels les services écosystémiques sont définis sont importants pour l'élaboration d'une SfN correspondant aux besoins de la société

Conservancy, 2014). L'infrastructure verte devient de plus en plus reconnue comme une occasion importante de relever les défis complexes de la gestion de l'eau et peut être utilisée pour atteindre des objectifs dans différents domaines d'action (voir tableau 1.2). Si elle est déployée sur des zones plus vastes, l'infrastructure verte peut apporter des avantages à l'échelle du paysage (voir figure 1.4).

La question de savoir si les solutions d'infrastructures vertes ou grises doivent être privilégiées a fait l'objet de débats (par exemple Palmer et al., 2015). La perspective « grise » soutient que les liens entre les infrastructures d'eau grises et le développement économique sont bien établis, que le développement socioéconomique est freiné dans les pays qui ne disposent pas d'une infrastructure grise suffisante pour gérer l'eau, que de nombreux pays en développement sont par conséquent « otages de leur hydrologie » et que plus d'infrastructures grises sont donc nécessaires (Muller et al., 2015). Une approche tenant compte des SfN a été préconisée en partie à cause des impacts environnementaux et sociaux négatifs associés aux infrastructures grises à grande échelle. Dans ce cas, l'argument avancé est qu'une refonte des approches conventionnelles est nécessaire, fonctionnant avec les systèmes naturels plutôt qu'à leur encontre, les SfN fournissant des alternatives ou des compléments à l'infrastructure grise, car celles-ci peuvent être tout aussi rentables ou plus rentables et fournir de nombreux avantages partagés qui sont souvent oubliés lorsque la gestion de l'eau devient trop étroitement définie et mise en œuvre (Palmer et al., 2015). Le débat opposant l'infrastructure verte à l'infrastructure grise est cependant une fausse dichotomie (McCartney et Dalton, 2015). Il suggère qu'il est nécessaire de choisir l'une ou l'autre, alors qu'en réalité le choix se porte en général sur le mélange le plus approprié et à quelle échelle. Il existe des exemples où les approches fondées sur la nature offrent la principale ou la seule solution viable (par exemple, la restauration des paysages pour lutter contre la dégradation des terres et la désertification) et des exemples où seule une solution grise peut fonctionner (par exemple, fournir de l'eau à



**Tableau 1.2 Solutions d'infrastructures vertes pour la gestion des ressources en eau**

| Problème de gestion de l'eau<br>(Service primaire à fournir)                               | Solution d'infrastructure verte  | Localisation   |   |               |          | Solution correspondante<br>d'infrastructure grise<br>(au niveau du service<br>primaire) |
|--|--|--|---|---------------|----------|---|
|  |  | Bass in hydrographique   | Plaine inondable                        | Milieu urbain | Littoral |   |
| Régulation de l'approvisionnement en eau<br>(y compris par l'atténuation de la sécheresse) | Re/boisement et conservation des forêts  |  |   |               |          | Barrages et pompage des nappes souterraines<br><br>Systèmes de distribution d'eau       |
|  | Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables                             |  |   |               |          |   |
|  | Wetlands restoration/conservation  |  |   |               |          |   |
|  | Restauration/conservation des zones humides                                    |  |   |               |          |   |
|  | Récupération de l'eau*   |  |   |               |          |   |
|  | Espaces verts (biorétention et infiltration)<br>Revêtements de sol perméables* |  |   |               |          |   |
|  | Permeable pavements*   |  |   |               |          |   |
| Régulation de la qualité de l'eau  | Purification de l'eau  | Re/boisement et conservation des forêts  |   |               |          | Usine de traitement des eaux  |
|  |  | Bandes riveraines  |   |               |          |   |
|  |  | Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables                                   |   |               |          |   |
|  |  | Restauration/conservation des zones humides  |   |               |          |   |
|  |  | Construction de zones humides  |   |               |          |   |
|  |  | Espaces verts (biorétention et infiltration)   |   |               |          |   |
|  |  | Revêtements de sols perméables*  |   |               |          |   |
|  | Contrôle de l'érosion  | Re/boisement et conservation des forêts  |   |               |          | Renforcement des pentes   |
|  |  | Bandes riveraines  |   |               |          |   |
|  |  | Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables                                   |   |               |          |   |
|  | Contrôle biologique  | Re/boisement et conservation des forêts  |   |               |          | Usine de traitement des eaux  |
|  |  | Tampons riverains  |   |               |          |   |
|  |  | Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables                                   |   |               |          |   |
|  |  | Restauration/conservation des zones humides  |   |               |          |   |
|  |  | Construction de zones humides  |   |               |          |   |
|  | Contrôle de la température de l'eau  | Re/boisement et conservation des forêts  |   |               |          | Barrages  |
|  |  | Tampons riverains  |   |               |          |   |
|  |  | Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables                                   |   |               |          |   |
|  |  | Restauration/conservation des zones humides  |   |               |          |   |
|  |  | Construction de zones humides  |   |               |          |   |
|  | Modération des événements extrêmes (inondations)                               | Contrôle des inondations riveraines  | Re/boisement et conservation des forêts |               |          |   |
| Tampons riverains  |  |  |   |               |          |   |
| Raccordement de cours d'eau aux plaines inondables   |  |  |   |               |          |   |
| Restauration/conservation des zones humides  |  |  |   |               |          |   |
| Construction de zones humides  |  |  |   |               |          |   |
| Mise en place de dérivations des crues   |  |  |   |               |          |   |
| Ruissellement des eaux pluviales urbaines  |  | Toitures végétales   |   |               |          | Infrastructure des eaux pluviales urbaines  |
|  |  | Espaces verts (biorétention et infiltration)   |   |               |          |   |
|  |  | Récupération de l'eau*   |   |               |          |   |
|  |  | Revêtements de sols perméables*  |   |               |          |   |
| Contrôle des inondations (tempêtes) côtières   |  | Protection/restauration des mangroves, marécages ou dunes côtières, Digues maritimes |   |               |          | Digues maritimes  |
|  |  | Protection/restauration des récifs de corail et d'huîtres                            |   |               |          |   |

\*Éléments bâtis qui interagissent avec des caractéristiques naturelles pour améliorer les services écosystémiques liés à l'eau.

Source : PNUE-DHI/UICN/TNC (2014, tableau 1, p. 6).

**Figure 1.4** Solutions d'infrastructures naturelles ou vertes pour la gestion de l'eau dans un paysage



Source : Infographie 'Natural Infrastructure for Water Management', ©UICN Water 2015.

un ménage par le biais de tuyaux et de robinets), mais dans la plupart des cas, les infrastructures vertes et grises peuvent et devraient travailler ensemble. Quoi qu'il en soit, la gestion de l'eau repose déjà sur une combinaison de vert et de gris, étant donné que les écosystèmes sont toujours à l'origine de l'eau qui est ensuite gérée par des infrastructures grises. Certains des meilleurs exemples du déploiement des SfN sont les façons dont elles peuvent être utilisées pour améliorer la performance de l'infrastructure grise. Par exemple, au Brésil/Paraguay, la durée d'exploitation économique du barrage hydroélectrique d'Itaipu, l'un des plus grands barrages hydroélectriques du monde, a été multipliée par six grâce à l'amélioration de la gestion du paysage et des pratiques agricoles dans le bassin versant afin de réduire la sédimentation du réservoir, tout en améliorant la productivité agricole et les revenus des agriculteurs (Kassam et al., 2012).

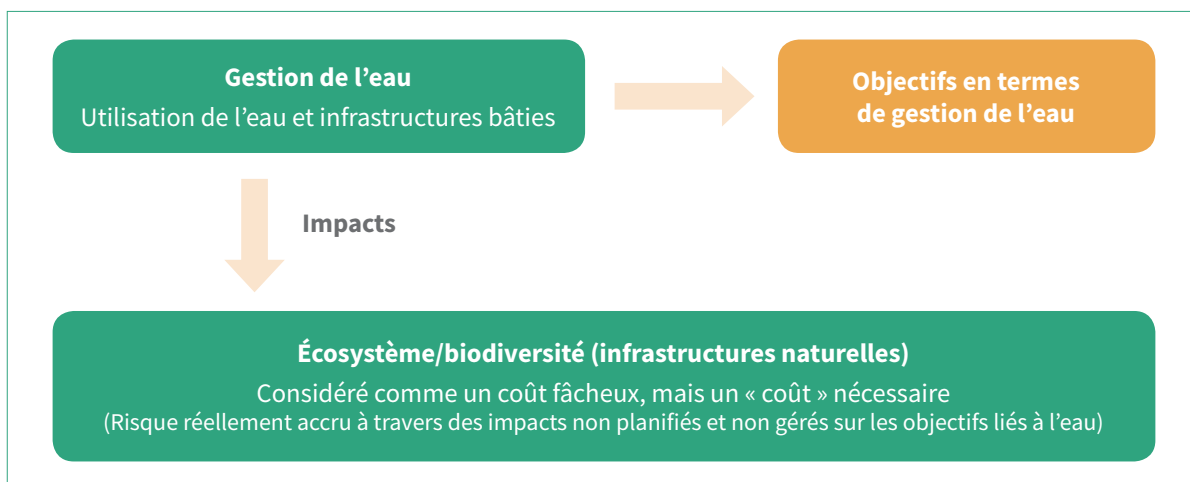
### 1.3.8 Avantages partagés des SfN

L'une des principales caractéristiques des SfN est qu'elles ont tendance à fournir des groupes de services écosystémiques (voir tableau 1.1) ensemble – même

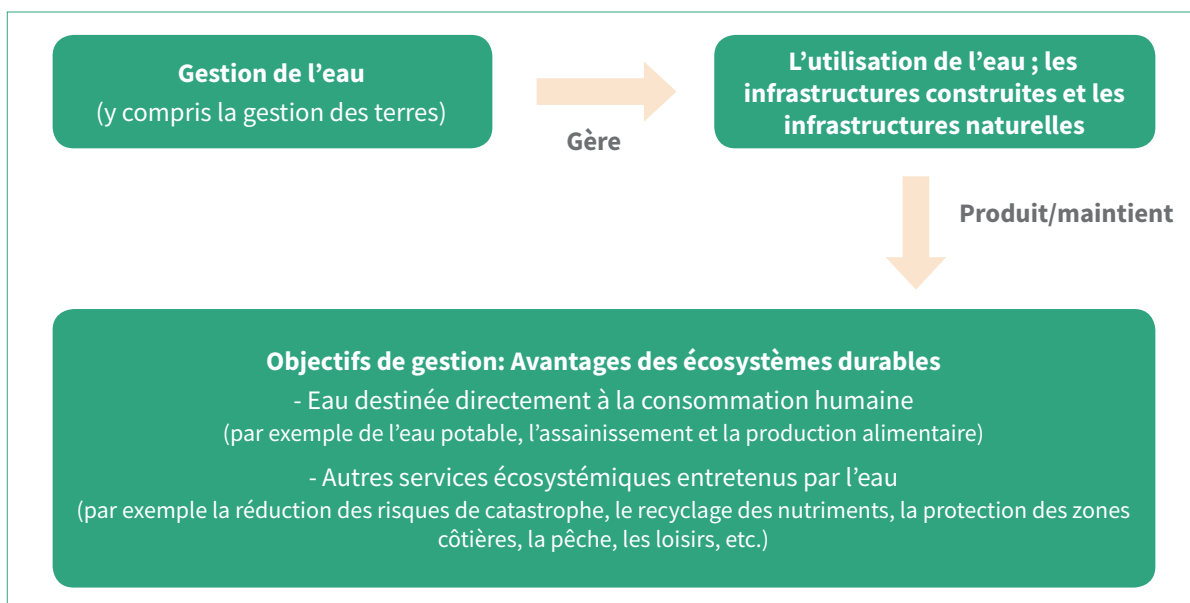
lorsqu'un seul constitue la cible de la gestion. Les SfN présentent de nombreux avantages liés à l'eau et aident souvent à résoudre simultanément les problèmes de quantité, de qualité de l'eau et de risques liés à l'eau. En outre, elles présentent des avantages au-delà des services écosystémiques liés à l'eau. Par exemple, les zones humides aménagées utilisées pour le traitement des eaux usées peuvent fournir de la biomasse pour la production de l'énergie (Avellán et al., 2017). La création ou la restauration des écosystèmes peut permettre de créer ou d'améliorer les ressources halieutiques, les ressources forestières ligneuses et non ligneuses, la biodiversité, la valeur esthétique des paysages ainsi que les services culturels et récréatifs, qui à leur tour peuvent être porteurs d'avantages socioéconomiques tels que l'amélioration des moyens de subsistance et la réduction de la pauvreté, de nouvelles opportunités d'emploi et la création d'emplois décents (WWAP, 2016). La valeur de certains de ces avantages peut être substantielle et orienter les décisions d'investissement en faveur des SfN. Un autre avantage clé des SfN est la façon dont elles favorisent la résilience globale du système.

**Figure 1.5** Évolution des approches touchant au lien eau-écosystème. L'accent a été déplacé de l'examen des impacts sur les écosystèmes à la gestion des écosystèmes pour atteindre les objectifs de gestion de l'eau

**ANCIENNES APPROCHES:**



**NOUVEAU PARADIGME:**



Source : Coates et Smith (2012, fig. 2, p. 171).

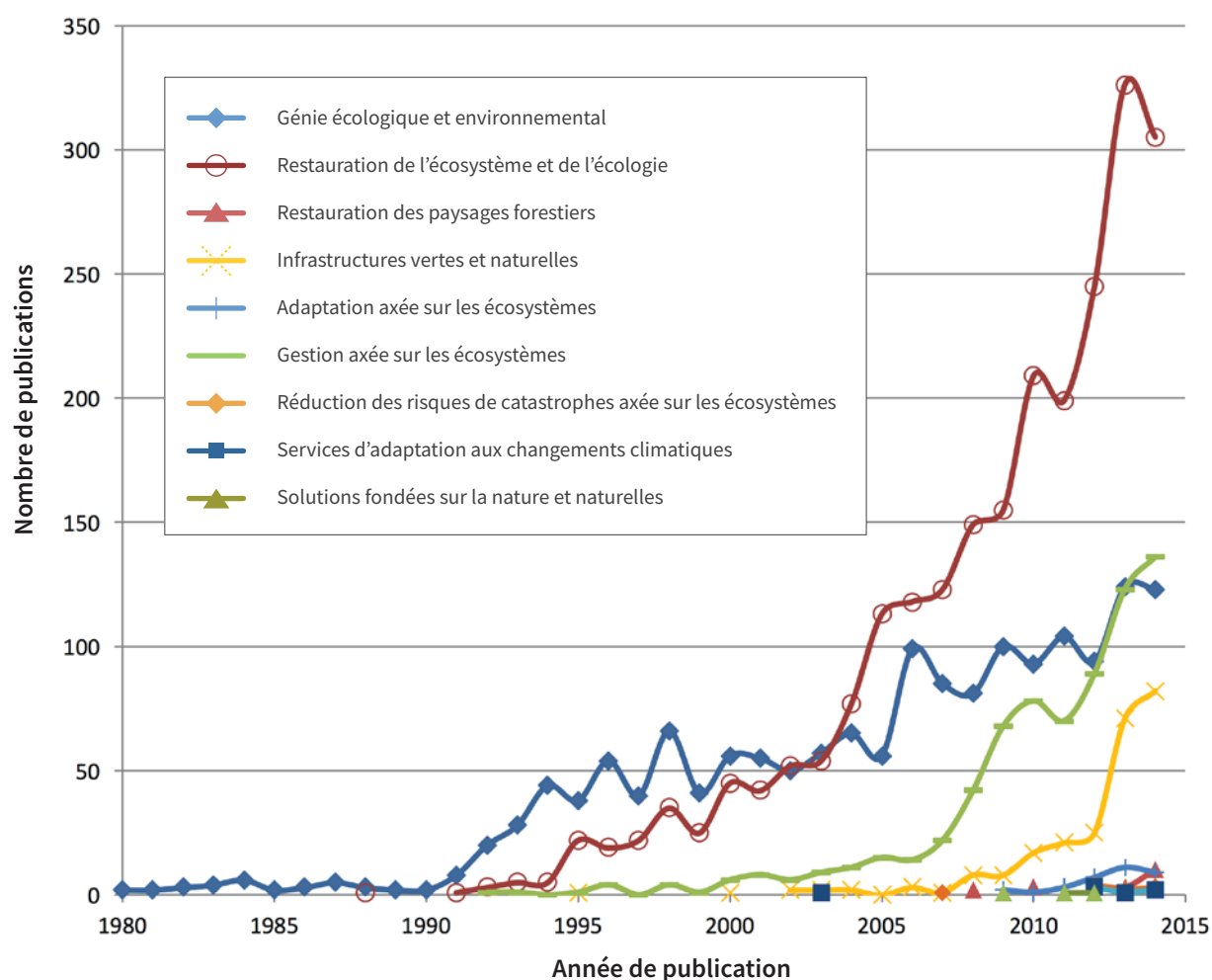
## 1.4 Les SfN, objet d'une attention croissante

### 1.4.1 L'environnement, le développement et l'eau

Aux premiers stades du programme de développement moderne, la relation entre le développement et l'environnement avait tendance à se caractériser par des compromis, en particulier en ce qui concerne l'eau. Les impacts environnementaux étaient bien connus, mais considérés comme un prix à payer acceptable pour le développement. Plus récemment, le discours sur l'eau et

l'environnement a sensiblement changé pour porter sur les moyens de gérer l'environnement afin de satisfaire les besoins en eau de l'homme (voir figure 1.5). Une transition similaire est perceptible dans les milieux d'affaires et dans divers forums politiques. Il en résulte une mutation considérable vers les solutions fondées sur la nature ces derniers temps et particulièrement au cours des dix dernières années.

**Figure 1.6** Tendances dans le nombre d'articles de recherche évoquant les SfN et les approches connexes entre 1980 et 2014



Remarque : Les solutions « fondées sur la nature » et « naturelles » sont des expressions qui ne sont pas courantes dans le milieu universitaire et par conséquent les tendances relatives à leur utilisation n'y sont pas suffisamment représentées.

Source : Cohen-Shacham et al. (2016, Fig. 8, p. 23, sur la base des données de Web Science).

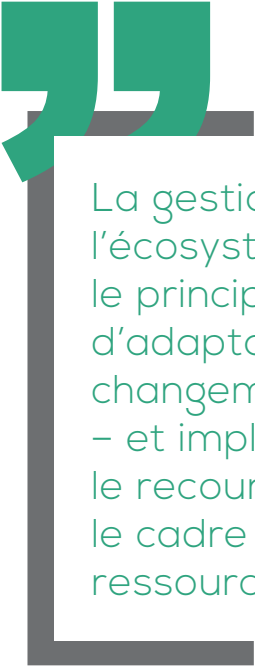
#### 1.4.2 Les SfN évoquées comme argument commercial

Les entreprises s'intéressent de plus en plus à l'investissement dans le capital naturel et les SfN, en raison d'un argument commercial convaincant<sup>5</sup>. Les arguments commerciaux qui militent en faveur des solutions fondées sur la nature sont entre autres : le caractère limité des ressources ; les exigences réglementaires ; les changements climatiques et les phénomènes météorologiques violents ; les préoccupations des intervenants ; les avantages financiers directs ; les gains opérationnels, financiers et de réputation qui découlent des avantages partagés environnementaux ; et les gains opérationnels, financiers et de réputation qui découlent des avantages sociaux connexes.

<sup>5</sup> Pour un aperçu détaillé des arguments commerciaux, rendez-vous sur la plateforme Natural Infrastructure for Business à l'adresse [www.naturalinfrastructureforbusiness.org/](http://www.naturalinfrastructureforbusiness.org/).

#### 1.4.3 Les accords multilatéraux sur l'environnement et les cadres mondiaux sur la sécurité alimentaire, la réduction des risques de catastrophe et les changements climatiques

En remontant l'histoire de la recherche, on situe autour de 1990 la naissance des SfN ou d'autres terminologies renvoyant à cette réalité (ce qui coïncide avec la Conférence des Nations Unies sur le développement durable tenue en 1992, qui a donné naissance à la Convention sur la diversité biologique (CDB, 1992), la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD, 1994) et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC, 1992). Elles vont par ailleurs connaître un essor à partir des années 2000-2005 (voir figure 1.6). L'un des facteurs essentiels a été le fait que depuis les années 2000 l'attention soit de plus en plus portée sur le concept



## La gestion fondée sur l'écosystème doit être le principal moyen d'adaptation aux changements climatiques – et implique largement le recours aux SfN dans le cadre de la gestion des ressources en eau

de services écosystémiques et que davantage d'efforts soient fournis en vue de les valoriser, ce qui favorise un plus grand engagement des décideurs. L'une des étapes les plus importantes a été l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire (2005).

Avant 2010, la Convention sur la diversité biologique examinait davantage la question de l'eau douce sous le prisme de l'atténuation des impacts de la gestion de l'eau sur la biodiversité. Toutefois, parallèlement aux efforts plus larges fournis en vue d'établir de façon plus explicite le lien entre biodiversité et développement, une étape importante a été l'adoption d'une référence aux services écosystémiques liés à l'eau sous l'Objectif 14 d'Aichi pour la biodiversité, « D'ici à 2020, les écosystèmes qui fournissent des services essentiels, en particulier l'eau et contribuent à la santé, aux moyens de subsistance et au bien-être, sont restaurés et sauvegardés... » (CDB, 2010, para. 13). C'était le précurseur de la première expression explicite de la relation positive entre les écosystèmes et l'eau dans l'agenda mondial du développement durable qui fait partie du document final de la Conférence des Nations Unies sur le développement durable de 2012 (Rio + 20) (CNUDD, 2012), *L'avenir que nous voulons*, en son paragraphe 122 : « Nous sommes conscients du rôle clé que les écosystèmes jouent dans la préservation de l'eau, que ce soit en quantité ou en qualité, et nous appuyons l'action menée dans les pays pour protéger et mettre en valeur ces écosystèmes de façon durable ».

De plus en plus, les SfN sont explicitement reconnues dans d'autres instances. Elles sont au cœur des mesures préventives et de réparation visant à lutter contre la dégradation des terres dans le cadre de la CNULCD : en 2015, sa 12<sup>e</sup> Conférence des Parties en a lié la mise en œuvre aux ODD et particulièrement la Cible 15.3 : « D'ici à 2030, lutter contre la désertification, restaurer les terres et sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations, et s'efforcer de parvenir à un monde sans dégradation des terres ». Les approches fondées sur la nature en matière de réduction des risques de catastrophe sont depuis

longtemps reconnues (Renaud et al., 2013). Toutefois, ce n'est que récemment que le rôle des écosystèmes dans la réduction des risques de catastrophe a fait l'objet d'une attention considérable dans les instances mondiales, comme l'illustre l'attention accrue qu'on accorde aux écosystèmes dans le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 par rapport à son prédécesseur, le Cadre d'action de Hyogo pour 2005- 2015 (PNUE, 2015). Le programme mondial actuel sur la sécurité alimentaire reconnaît également le rôle central des SfN tel que cela apparaît, par exemple, dans le Cadre stratégique révisé 2010-2019 de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), entériné par la Conférence de la FAO en juin 2013 (FAO, 2014a). Les approches apparentées aux approches fondées sur la nature ont également été récemment intégrées dans les Principes pour un investissement responsable dans l'agriculture et les systèmes alimentaires approuvés en octobre 2014 par le Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CSA) ; par exemple son principe 6 : « Conserver et gérer de manière durable les ressources naturelles, renforcer la résilience et réduire les risques de catastrophe » (CSA, 2014).

Les SfN sont essentielles à la lutte contre les changements climatiques. ONU-Eau a souligné que les impacts des changements climatiques pèsent en grande partie sur l'hydrologie et les ressources en eau (ONU-Eau, 2010). Le changement du cycle de l'eau est au cœur de la plupart des changements liés aux changements climatiques dans les écosystèmes et le bien-être humain, ainsi que des impacts des changements climatiques résultant du changement des écosystèmes (SEG, 2007 ; GIEC, 2014). Cela implique que la gestion fondée sur l'écosystème doit être le principal moyen d'adaptation aux changements climatiques – et implique largement le recours aux SfN dans le cadre de la gestion des ressources en eau. Les SfN sont déjà reconnues dans le programme de lutte contre les changements climatiques. Le Programme national d'adaptation aux changements climatiques, conformément à la CCNUCC, met souvent en exergue les approches d'adaptation écosystémiques. Les fortes interdépendances entre les cycles du carbone et de l'eau créent également d'importantes synergies l'adaptation aux changements climatiques et leur atténuation. Par exemple, réduire les émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts (REDD+) est l'application de l'approche fondée sur la nature en matière de gestion du climat mondial, principalement pour l'atténuation des changements climatiques. Toutefois, le rôle des arbres en hydrologie crée des liens substantiels avec l'adaptation. De même, près de 25 % des émissions de gaz à effet de serre proviennent des changements dans l'utilisation des sols (FAO, 2014b) et la perte des ressources en eau est, à bien des égards, responsable de la dégradation des terres. Les tourbières, par exemple, jouent un rôle de premier plan dans l'hydrologie locale, mais ce type de terres humides stocke le double du carbone de l'ensemble des forêts du monde. Par conséquent, lorsqu'elles sont drainées, les tourbières constituent une source d'émission massive de gaz à effet de serre (Parish et al., 2008).

#### 1.4.4 Établir un lien entre les SfN et le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et ses ODD

Les SfN comprennent les trois principes de base de la mise en œuvre des ODD : l'invisibilité (un objectif ne peut être réalisé au détriment d'un autre) ; l'inclusion (ne laisser personne de côté) ; et l'accélération (en mettant l'accent sur les actions porteuses de multiples dividendes en termes de développement).

L'Objectif 14 d'Aichi pour la biodiversité et les conclusions de Rio+20 (telles que mentionnées ci-dessus) ont contribué à l'incorporation des écosystèmes dans l'ODD 6 à travers sa Cible 6.6 (« D'ici à 2020, protéger et restaurer les écosystèmes liés à l'eau, notamment les montagnes, les forêts, les zones humides, les rivières, les aquifères et les lacs ») en reconnaissance du rôle des écosystèmes dans la réalisation de l'objectif global relatif à l'eau (ODD 6) et ses autres cibles. Cela témoigne de la reconnaissance par les États Membres, des liens cruciaux qui existent entre les écosystèmes et l'eau. Outre la Cible 6.6, l'ODD 14 (Océans) et en particulier l'ODD 15 (Écosystèmes terrestres), les écosystèmes sont également mentionnés dans les ODD en ce qui concerne la sécurité alimentaire dans la Cible 2.4 et également en référence à l'eau (« D'ici à 2030, assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols »). Même en ce qui concerne les ODD 14 et 15, seule la Cible 15.3 précise pourquoi les écosystèmes doivent être sauvegardés ou restaurés, et elle renvoie, une fois de plus, à l'eau (dégradation des terres, sécheresse et inondation). Les SfN contribuent à la réalisation de plusieurs autres ODD et leurs Cibles, même si ceux-ci ne sont explicitement cités en même temps. Ces liens sont examinés plus en détail dans les chapitres suivants et résumés au chapitre 7.

### 1.5 L'évaluation des SfN dans le contexte de ce rapport

Il est clair que les SfN sont de plus en plus reconnues dans les programmes relatifs à l'eau. Les chapitres 2, 3 et 4 du présent rapport examinent les solutions fondées sur la nature en matière de gestion de la disponibilité, de la qualité et des risques liés à l'eau respectivement. Le chapitre 5 présente des exemples d'expériences avec les SfN au niveau régional. Chacune de ces expériences détaille plus concrètement les SfN, en appuyant cela par des exemples sectoriels.

Toutefois, en dépit d'une longue tradition et de l'expérience acquise au fil du temps dans l'application des SfN, il existe encore bien des cas où la gestion des ressources en eau de même que les politiques y relatives font abstraction des SfN – bien lorsqu'il est évident et démontré qu'elles sont efficaces. Il existe encore de trop nombreux cas où les SfN sont déployées sur la base d'une science incertaine et, par conséquent, ne permettent pas d'atteindre les résultats escomptés. Le chapitre 6, par conséquent, examine les contraintes connues à l'application de SfN sur la base de l'expérience issue des évaluations effectuées aux chapitres 2 à 5 ainsi que d'autres sources d'informations, et propose des voies et moyens de les surmonter. L'objectif essentiel en est de créer les conditions véritables de la prise en compte des SfN selon des règles du jeu plus équitables dans le programme relatif aux ressources en eau, permettant ainsi qu'elles soient évaluées sur un pied d'égalité avec les autres solutions. Le chapitre 7 tire les conclusions et apporte les réponses possibles, en accordant une attention particulière aux opportunités que les SfN offrent pour aider les États Membres (et d'autres intervenants) à réaliser leurs objectifs en ce qui concerne la gestion des ressources en eau et les objectifs de développement durable y afférents, notamment eu égard au Programme de développement durable à l'horizon 2030.

Les enseignements de l'histoire précédemment évoqués suscitent des interrogations pertinentes : Est-il possible d'éviter les catastrophes auxquelles ont été confrontées les civilisations les plus anciennes ? Peut-on dire que les sociétés sont dans une meilleure posture au 21<sup>e</sup> siècle qu'il y a un millénaire ? Il est certain que le statut actuel des écosystèmes (voir le prologue, par exemple) n'est pas de bon augure. La connaissance de la façon dont la relation écosystème eau-alimentation-énergie peut être gérée, en particulier en ce qui concerne l'influence exercée sur les déterminants sociopolitiques du changement, reste à parfaire. Tout dépendra de l'équilibre qui peut être assuré entre la dégradation, la conservation et la restauration des écosystèmes liés à l'eau et de la façon dont les processus hydrologiques écosystémiques peuvent être mieux gérés afin d'obtenir des objectifs multiples en matière de gestion de l'eau. Qu'une catastrophe soit imminente ou non, il est impératif de multiplier les gains d'efficacité sociaux, économiques et hydrologiques dans la gestion des ressources en eau, dans laquelle les SfN joueront un rôle essentiel. Le présent rapport vise à évaluer comment cela peut être réalisé.

# 2

## LES SfN POUR GÉRER LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU



FAO | Amani Alfarra et Antony Turton

**Avec les contributions de<sup>6</sup>** : David Coates et Richard Connor (WWAP) ; Marlos De Souza et Olcay Ünver (FAO) ; Division de l'efficacité des ressources industrielles de l'ONUDI et John Payne (John G. Payne & Associates Ltd) ; Matthew McCartney (IWMI) ; Ben Sonneveld (ACWFS-VU) ; Rebecca Welling (IUCN) ; Tatiana Fedotova (WBCSD) ; et Daniel Tsegai (CNULCD)

Les zones humides du Pantanal (Brésil)



## 2.1 Introduction

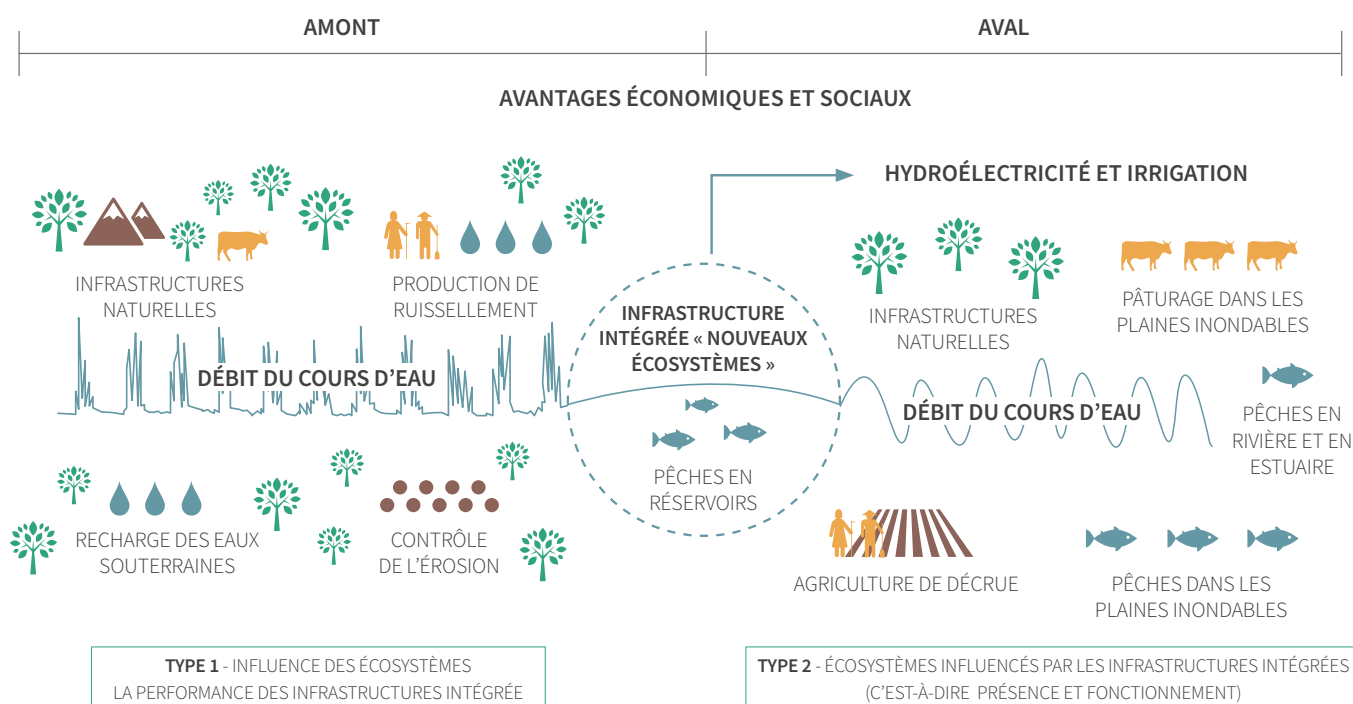
La plupart des États Membres sont confrontés à un problème de pénurie d'eau induite, du moins à l'échelle locale sinon à l'échelle nationale, exacerbé par l'incapacité à accélérer l'adoption de solutions stratégiques. La pénurie d'eau est influencée aussi bien par l'offre que par la demande. Certes, il existe des exemples de la façon dont les SfN peuvent influencer la demande (par exemple la réduction des besoins en eau pour l'irrigation des cultures ; voir ci-dessous), mais ils portent principalement sur l'approvisionnement en eau à travers la gestion du stockage de l'eau, l'infiltration (sorptivité) et la transmission afin que des améliorations soient apportées dans le lieu, la synchronisation et la quantité de l'eau disponible pour les besoins humains. Une approche s'appuyant sur les SfN est essentielle pour aborder le problème de pénurie d'eau à travers la gestion du volet approvisionnement en eau, principalement en raison du fait que l'approche est reconnue comme étant le principal moyen de garantir la durabilité des ressources en eau pour l'agriculture (voir Section 2.2.1) – de loin le besoin le plus essentiel pour assurer la durabilité globale des ressources en eau en raison de sa prédominance dans la demande actuelle en eau et pour les défis futurs (voir le prologue).

La disponibilité de l'eau (en particulier la pénurie) est influencée par la qualité de l'eau. Par exemple, l'amélioration de la qualité de l'eau permet qu'elle soit réutilisée. Les inondations et sécheresses catastrophiques représentent les extrêmes de la variation de la disponibilité de l'eau. Le présent chapitre porte sur la façon dont les solutions fondées sur la nature peuvent aider les États à relever leurs défis nationaux en matière de disponibilité des ressources en eau, autres que ceux liés à la qualité de l'eau et aux extrêmes, qui sont couverts aux chapitres 3 et 4 respectivement, bien qu'il demeure des liens pertinents.

<sup>6</sup> Les auteurs du chapitre souhaiteraient exprimer leur gratitude à Sarah Davidson (WWF-US) pour ses observations.



**Figure 2.1** Relation entre les infrastructures bâties et les services écosystémiques



Source : CGIAR WLE (2017, fig. 1, p. 5, élaborée à l'aide de certains résultats de WISE-UP to Climate).

Les écosystèmes influencent considérablement la quantité de l'eau disponible dans le temps et dans l'espace (voir chapitre 1). Plus particulièrement, l'interface sol/végétation est le déterminant clé du devenir des précipitations dans la mesure où elle influence l'infiltration à la surface du sol et, partant, la recharge des aquifères, le ruissellement de surface et la rétention d'humidité du sol dans la zone racinaire (particulièrement importante pour l'agriculture), et enfin le recyclage de l'eau dans l'atmosphère par des flux d'évaporation. Les SfN impliquent essentiellement la gestion de ces voies, soit par la conservation ou la réhabilitation de l'écosystème, soit par diverses approches d'utilisation et de gestion des terres, que ce soit à petite échelle ou à l'échelle du paysage ou en milieu urbain ou rural. En outre, les approches structurelles impliquant des changements physiques dans le paysage, à l'exemple de petites dépressions pour la récupération de l'eau ou le prélèvement de l'eau sous-exploitée dans les paysages (voir encadré 2.1), ont été présentées comme étant des SfN, bien que certaines fonctionnent sans doute simplement comme infrastructures grises. Les approches structurelles sont incluses ici particulièrement lorsqu'elles sont déployées en association avec la gestion des composants vivants des paysages. En fonction des interprétations, elles

peuvent être perçues comme SfN ou des exemples d'approches d'infrastructures vertes/grises hybrides (mais à petite échelle).

L'étude de cas de Tarun Bharat Singh au Rajasthan en Inde présente un excellent exemple de la façon dont les approches communautaires de gestion du paysage à faible coût peuvent améliorer aussi bien la recharge des eaux souterraines que la disponibilité des eaux de surface à travers une combinaison de la gestion du sol, de la végétation et des interventions structurelles (physiques). L'approche des SfN offre d'importants gains socioéconomiques dans de multiples secteurs et intérêts, et illustre également la façon dont la gestion du paysage peut améliorer les climats locaux, notamment les modèles de précipitations (voir encadré 2.2).

Il existe quelques exemples où il faut opérer un choix entre les SfN et les infrastructures grises (bâties) comme seule solution pour l'amélioration de la disponibilité de l'eau ; mais généralement, les deux doivent être envisagées, conçues et mises en œuvre de façon harmonieuse. Chaque approche doit tirer parti des avantages de l'autre afin de canaliser les synergies en vue de l'amélioration de la performance globale du système (voir figure 2.1).

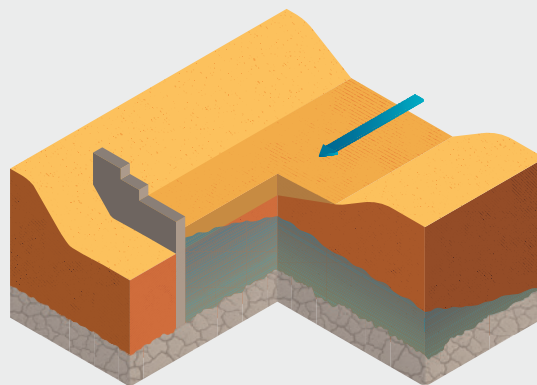
## STOCKAGE DE L'EAU FONDÉ SUR LA NATURE DANS LES RIVIÈRES ASSÉCHÉES EN AFRIQUE

Les lits de plusieurs cours d'eau et ruisseaux saisonniers (également qualifiés d'éphémères) qui traversent des terres arides et semi-arides forment des réservoirs peu profonds d'eau souterraine, qui sont rechargés à chaque fois que les rivières coulent. Les communautés peuvent prélever de l'eau de ces aquifères alluviaux pendant la saison sèche, en utilisant divers moyens simples. Cependant, en dépit de son potentiel de stockage élevé, cette solution de stockage est actuellement sous-utilisée dans plusieurs régions d'Afrique, en particulier à des fins de production telles que l'agriculture (Lasage et al., 2008 ; Love et al., 2011).

Les rivières Shashe, Tuli et Sashane dans la zone aride du sud du Zimbabwe illustrent le vaste potentiel de ce type de stockage de l'eau. Même après la saison pluvieuse 2015-2016 exceptionnellement aride, les lits de ces cours d'eau saisonniers contenaient suffisamment d'eau pour l'irrigation. Cependant, l'exploitation de cette ressource à des fins de production reste un défi majeur (Critchley and Di Prima, 2012).

Les « barrages de sable » (c.-à-d. des murs construits en travers de la rivière dans le sable) ont été utilisés au sud du Zimbabwe en association avec des pompes solaires à basse pression peu onéreuses. Les « barrages de sable » augmentent progressivement l'épaisseur de la couche de sédiment dans la rivière (en élevant le barrage en plusieurs étapes), augmentant ainsi le volume d'eau stocké et son accessibilité. La technologie permet aux agriculteurs d'avoir accès à l'eau pour l'irrigation d'appoint et d'atténuer les risques liés à la disponibilité de l'eau. Elle peut également permettre aux agriculteurs d'étendre la saison des cultures jusqu'à la saison sèche et de procéder à une deuxième récolte (de cultures de rente ou vivrières), ce qui permet d'accroître les revenus et les moyens de subsistance.

Figure | Schéma d'un barrage de sable



Source : Voir le site [www.metameta.nl](http://www.metameta.nl)

L'utilisation durable de ce stockage fondé sur la nature peut être appuyée par la mise en place d'un dispositif communautaire de suivi qui permet d'assurer que tous les utilisateurs de l'eau disposent des informations exactes et symétriques sur les niveaux réels des eaux souterraines – un élément essentiel dans la gestion durable d'une telle ressource commune (Ostrom, 2008).

Considérant qu'un cinquième du continent africain est constitué de terres arides et semi-arides, et en supposant que 1 % de ces terres est propice pour l'agriculture et convenablement situé près d'une rivière de sable, les rivières de sable pourraient potentiellement assurer le stockage de l'eau pour près de 60 000 km<sup>2</sup> de terres irriguées en Afrique. Ce chiffre est considérable, si on le compare aux 130 000 km<sup>2</sup> de terres irriguées qui existaient en 2010 (You et al., 2010), d'autant plus que ces terres sont situées dans des zones où le déficit d'humidité constitue un défi majeur permanent.

Contribution de Annelieke Duker (IHE Delft), Eyasu Yazew Hago (Mekelle University), Stephen Hussey (Dabane Water Workshops), Mieke Hulshof (Acacia Water), Ralph Lasage (Institute for Environmental Studies (IVM) du Vrije Universiteit Amsterdam), Moses Mwangi (South Eastern Kenya University) et Pieter van der Zaag (IHE Delft).

## 2.2 Études de cas sectorielles et thématiques

### 2.2.1 Agriculture

En raison de l'importance de l'eau pour la sécurité alimentaire, l'agriculture durable et la nutrition (GEHN, 2015), le défi de l'alimentation dans un contexte de croissance démographique deviendra progressivement une question essentielle dans la plupart des politiques de développement. Alors que près de 800 millions de personnes sont actuellement victimes de la faim, d'ici à 2050, la production alimentaire mondiale devrait augmenter de 50 % pour nourrir les plus de 9 milliards de personnes que devrait abriter notre planète (FAO/FIDA/UNICEF/PAM/OMS, 2017). Il est aujourd'hui admis que cette augmentation ne peut pas s'opérer avec le maintien du statu quo, et qu'il est nécessaire de procéder à un changement transformationnel dans notre mode de production alimentaire (FAO, 2011b ; 2014a). L'agriculture devra répondre à l'accroissement de la production prévu, à travers une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources tout en réduisant simultanément son empreinte externe. L'eau jouera un rôle déterminant dans ce processus. Ce sujet a été analysé de manière suffisamment approfondie. L'une des pierres angulaires des solutions est l'« intensification écologique durable » de la production alimentaire qui améliore les services écosystémiques dans les paysages agricoles, par exemple par l'amélioration de la gestion des sols et de la végétation (FAO, 2014a). Cette approche est aujourd'hui généralisée, comme on peut le voir, par exemple, dans le *Cadre stratégique révisé 2010–2019* de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2013b)<sup>7</sup>. Son objectif stratégique 2 met en exergue le rôle essentiel de la biodiversité et des services écosystémiques dans la réalisation des objectifs de ce cadre, notamment « tirer parti du potentiel de la bioéconomie afin d'accroître les contributions de l'agriculture, de la foresterie et des pêches dans le développement économique, tout en générant des revenus et des emplois et en fournissant des moyens de subsistance aux exploitations familiales et à la population des zones rurales de manière générale. Les systèmes de production doivent relever ce défi grâce à des innovations qui accroissent la productivité et l'efficacité agricoles dans un contexte d'utilisation durable des ressources naturelles, de réduction de la contamination, d'utilisation des énergies plus propres, d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques, ainsi que de fourniture des services environnementaux. » (FAO, 2013b, point 53).

L'eau n'est pas considérée indépendamment dans cette approche, qui vise à améliorer le rendement de l'écosystème dans l'ensemble, par exemple le recyclage des nutriments (et, partant, l'efficacité dans l'utilisation des engrais et par conséquent la qualité de l'eau), la régulation des ravageurs et des maladies, la pollinisation et la prévention de l'érosion du sol. L'amélioration du cycle de l'eau (régulation de l'eau) est une exigence et un résultat essentiels et transversaux.

<sup>7</sup> Adopté par la 38e session de la Conférence de la FAO en juin 2013 dans sa décision C 2013/7.

### ENCADRÉ 2.2

#### AVANTAGES À L'ÉCHELLE – RESTAURATION DU PAYSAGE EN VUE D'AMÉLIORER LA SÉCURITÉ HYDRIQUE DANS LE RAJASTHAN, INDE

Fait inhabituel, la faiblesse des précipitations entre 1985 et 1986 à laquelle s'ajoute une exploitation excessive des forêts a conduit aux pires sécheresses de l'histoire du Rajasthan. Le district d'Alwar, l'un des plus pauvres de l'État, a été gravement touché. La nappe souterraine avait diminué en deçà des niveaux critiques et l'État a déclaré des parties de la région « zones sombres », ce qui signifiait que la gravité de la situation justifiait des restrictions sur toute extraction des eaux souterraines. Tarun Bharat Sangh, une organisation non gouvernementale (ONG) a aidé les communautés locales à entreprendre la restauration à l'échelle du paysage des cycles hydrologiques locaux et des ressources en eau. Sous la conduite des femmes, elles, qui assument habituellement la responsabilité de fournir de l'eau douce à leurs familles, les initiatives locales traditionnelles pour l'eau ont été ravivées en rassemblant les gens autour des questions de gestion des forêts et des ressources en eau. Les activités étaient axées sur la construction de structures de récupération de l'eau à petite échelle associée à la régénération des forêts et des sols, en particulier dans les bassins hydrographiques supérieurs, afin d'aider à améliorer la recharge des ressources en eau souterraine.

Leur impact a été considérable. À titre d'exemple, l'eau a été ramenée dans près de 1 000 villages dans tout l'État ; cinq cours d'eau qui s'asséchaient généralement après la saison de la mousson coulent à nouveau aujourd'hui et les ressources halieutiques qu'ils contiennent sont rétablies ; les niveaux des eaux souterraines ont augmenté pour atteindre environ six mètres ; les terres agricoles productives ont augmenté de 20 % à 80 % du bassin hydrographique ; le couvert forestier indispensable, notamment dans les terres agricoles, qui aide à maintenir l'intégrité et la capacité de rétention d'eau du sol, a augmenté de 33 %, et le retour d'espèces fauniques telles que les antilopes et les léopards a été observé. Everard (2015) a entrepris une évaluation scientifique du programme confirmant ses prétendus avantages socioéconomiques.

Ces solutions innovantes en matière de gestion de l'eau ont amélioré la sécurité hydrique dans l'Inde rurale (SIWI, 2015).

Source : Singh (2016).

L'attention accordée précédemment à l'utilisation de l'eau dans l'agriculture était davantage portée sur l'irrigation en raison de ses niveaux élevés de prélèvement d'eau. Toutefois, l'Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture (2007) a relevé que les principales opportunités d'accroissement de la productivité se trouvent dans les systèmes pluviaux qui représentent l'essentiel de la production actuelle et de l'agriculture familiale (et par conséquent des avantages en termes de moyens de subsistance et de réduction de la pauvreté).

Les avantages des SfN peuvent s'appliquer à l'agriculture à toute échelle, de l'agriculture familiale à petite échelle (FAO, 2011b) à l'agriculture « industrielle » à grande échelle. La viabilité économique et la durabilité des écosystèmes constituent deux aspects de la même réalité (Scholes et Biggs, 2004). Par exemple, une étude récente des systèmes de monoculture hautement simplifiés et intensifs a démontré que la diversification des paysages non seulement assure une meilleure qualité de l'eau, des nutriments, de la biodiversité et de la gestion du sol, mais accroît en même temps la production agricole (Liebman et Schulte, 2015). Les systèmes agricoles qui conservent les services écosystémiques à travers des pratiques telles que le labour de conservation, la diversification des cultures, l'intensification de la culture des légumineuses et la lutte biologique contre les ravageurs sont aussi rentables que les systèmes intensifs à niveau élevé d'intrants (Badgley et al., 2007 ; Power, 2010). La capacité à résister et à se relever de diverses formes de stress, notamment les sécheresses et les inondations, ainsi que les ravageurs et les maladies, figure parmi les effets de l'accroissement de la diversité biologique dans les systèmes agricoles relevés dans un examen récent (Cardinale et al., 2012). Ces approches constituent également une stratégie fondamentale dans l'amélioration de la résilience de l'agriculture dans un contexte de changement climatique (FAO, 2014a).

L'Étude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT, 2007) a entrepris une analyse détaillée de 42 études de cas approfondies des initiatives de conservation des sols et de l'eau à travers le monde, principalement, mais pas exclusivement liées à l'agriculture. Les mesures de conservation des sols et de l'eau peuvent être regroupées ainsi qu'il suit :

- **Agriculture de conservation** – caractérisée par des systèmes qui intègrent ces trois principes de base : perturbation minimale du sol, un certain niveau de couverture du sol permanente, et la rotation des cultures.
- **Fumage/compostage** – où les engrais organiques et les composts sont destinés à améliorer la fertilité du sol et en même temps améliorer la structure du sol (contre le compactage et l'encroûtement) et améliorer l'infiltration de l'eau et la percolation.
- **Bandes végétales/couvert végétal** – par exemple en utilisant des herbes ou des arbres de diverses manières. Dans le cas des bandes, celles-ci conduisent souvent à la formation de diguettes et de terrasses en raison de « l'érosion due au travail du sol », c'est-à-dire le mouvement

descendant du sol pendant la culture. Dans les autres cas, les effets du couvert végétal dispersé sont multiples, notamment un couvert végétal accru, une structure et une infiltration du sol améliorées, ainsi qu'une diminution de l'érosion par l'eau et le vent.

- **Agroforesterie** – décrit les systèmes d'utilisation des terres où les arbres sont cultivés en association avec les cultures agricoles, les pâturages ou le bétail. Généralement, il existe des interactions écologiques et économiques entre les composants du système. Il existe un large éventail d'applications potentielles, des brise-vents aux arbres à café en passant par les cultures à plusieurs étages.
- **Trois approches structurelles** souvent soutenues par des composantes de paysages vivants :
  - **Récupération de l'eau** – qui implique la collecte et la concentration du ruissellement pluvial en vue de la production agricole, ou l'amélioration du rendement des herbes et des arbres, dans les zones sèches où le déficit d'humidité constitue le premier facteur limitant.
  - **Contrôle des ravins** – qui comprend un ensemble de mesures concernant ce type d'érosion grave spécifique, et qui rend la réhabilitation des terres nécessaire. Il existe un large éventail de mesures différentes et complémentaires, dominées toutefois par les barrières structurelles qui sont souvent stabilisées grâce à une végétation permanente. Le plus souvent, ces technologies sont appliquées sur l'intégralité d'un sous-bassin hydrographique.
  - **Terrasses** – avec une grande diversité de types de terrasses, des terrasses inclinées vers l'avant aux terrasses plates ou inclinées vers l'arrière, avec ou sans système de drainage.

Parmi ces technologies, l'agriculture de conservation (voir encadré 2.3) est devenue le fleuron d'un paradigme agricole de recharge visant à intensifier la production végétale qui non seulement améliore et soutient la productivité, mais fournit également d'importants services environnementaux (Kassam et al., 2009, 2011a, FAO, 2011c).

Les opportunités d'adoption de pratiques de gestion des terres qui visent l'eau verte<sup>8</sup> (cultures pluviales) peuvent améliorer considérablement la disponibilité de l'eau aux fins de production agricole. En utilisant des estimations modérées (25 %) pour la réduction de l'évaporation du sol et l'amélioration de la récupération de l'eau en modifiant les régimes de travail du sol ou le paillage dans un modèle de végétation mondiale et de bilan hydrique dynamique, Rost et al. (2009) ont estimé que la production agricole mondiale pourrait être augmentée de près de 20 % grâce aux seules pratiques de gestion de l'eau verte dans les exploitations agricoles. Cela aboutit à des gains annuels

<sup>8</sup> L'eau verte renvoie à l'eau issue des précipitations qui sont stockées dans la zone racinaire du sol et évaporée, perdues par transpiration ou absorbées par les plantes. Elle est particulièrement importante pour les produits agricoles, horticoles et forestiers. Pour de plus amples informations, consultez : [Waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/](http://Waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/) (disponible en anglais seulement)

## AGRICULTURE DE CONSERVATION : UNE APPROCHE DE L'INTENSIFICATION DE LA PRODUCTION DURABLE

L'agriculture de conservation implique l'application simultanée de trois principes pratiques basés sur des pratiques formulées localement (Friedrich et al., 2008; Kassam et al., 2011a) : la limitation au minimum de la perturbation du sol (l'ensemencement sans labour) ; le maintien d'un couvert végétal continu constitué de paillis ou de plantes (cultures principales et cultures de couverture, dont les légumineuses) ; et la culture de diverses espèces végétales qui, dans différents systèmes agricoles, peuvent inclure des cultures annuelles ou pérennes, des arbres, des arbustes et des pâturages en association, en succession ou en rotation, toutes contribuant à améliorer la résilience du système. L'élimination ou la minimisation de la perturbation mécanique du sol évite ou réduit l'éclatement de la structure et des pores de la couche arable, ainsi que la perte de matière organique du sol et le compactage du sol qui se produit avec le travail du sol. Stagnari et al. (2009) ont conclu que, comparée à l'agriculture conventionnelle de labour, l'agriculture de conservation entraîne « l'amélioration de la structure et la stabilité du sol ; l'augmentation du drainage et de la capacité de rétention d'eau ; la réduction du risque de ruissellement pluvial (voir la figure ci-dessous) et la réduction de la pollution des eaux de surface par les pesticides jusqu'à 100 % et par les engrais jusqu'à 70 % et la réduction de la consommation d'énergie et d'émission de CO<sub>2</sub> d'environ un quart à un demi ».

Figure | Le même champ avec des sections soumises à l'agriculture de labour (à droite) et l'agriculture de conservation/sans labour (à gauche) immédiatement après un fort orage



Remarque : Le tassement du sol et la perte de la capacité d'infiltration d'eau causés par le labour régulier du sol entraînent un mauvais drainage et l'inondation dans le champ labouré (à droite) et aucune inondation dans le champ sans labour (à gauche). Photo prise en juin 2004 sur une parcelle issue d'un essai de longue durée « Oberacker » à Zollikofen près de Berne, en Suisse, entrepris en 1994 par SWISS NO-TILL.

Photos : Wolfgang Sturny.

Les avantages économiques de l'agriculture de conservation ont été établis dans divers systèmes à travers le monde, des systèmes agricoles des petits exploitants en Amérique latine et en Afrique subsaharienne aux systèmes de production commerciale à grande échelle au Brésil et au Canada (examinés dans Govaerts et al., 2009). Actuellement, environ 1,8 million de km<sup>2</sup> de terres cultivées font l'objet d'une agriculture de conservation, ce qui représente environ 12,5 % de l'étendue des terres cultivées dans le monde, soit une augmentation de 69,2 % depuis 2008/2009 (Kassam et al., 2017). Cependant, l'absorption varie fortement d'une région à l'autre. Par exemple, dans certains pays d'Amérique du Sud, 70 % des terres arables sont soumises à l'agriculture de conservation. Dans d'autres, la surface concernée est négligeable. Les différences semblent être davantage liées aux perceptions, aux politiques agricoles, aux appuis et mesures incitatives en faveur des agriculteurs sur le terrain plutôt qu'aux facteurs climatiques biogéologiques, ce qui suggère qu'un environnement politique favorable constitue un facteur déterminant pour l'absorption future (Derpsch et Friedrich, 2009).

## LE SYSTÈME DE RIZICULTURE INTENSIVE (MEILLEURE PRODUCTIVITÉ AVEC MOINS D'EAU)

Le riz constitue une denrée de base pour près de la moitié de la population mondiale. La riziculture irriguée pratiquée dans les bas-fonds, qui couvre environ 56 % de la superficie totale des rizières, produit environ 76 % de la récolte mondiale de riz (Uphoff et Dazzo, 2016). Le système de riziculture intensive (SIR) est une approche qui réintroduit le fonctionnement écologique et hydrologique des sols, sur la base des modifications dans les pratiques standard de gestion des cultures et de l'eau plutôt que sur l'introduction de nouvelles variétés ou sur l'utilisation d'intrants agrochimiques. Il s'est imposé à l'échelle internationale, allant au-delà de Madagascar, son lieu de création (Kassam et al., 2011b). Ce qui est particulièrement intéressant c'est la pratique du SIR qui consiste à conserver l'humidité du sol sans que celui-ci ne soit continuellement inondé afin que l'état du sol soit davantage aérobique plutôt que toujours saturé et anaérobique. Les résultats varient considérablement d'une région à l'autre, mais le SIR peut avec le temps permettre de réaliser des économies de main-d'œuvre, d'économiser de l'eau (25 % à 50 %) et des semences (80 % à 90 %), réduire les coûts (de 10 % à 20 %) et augmenter la production de paddy d'au moins 25 % à 50 %, souvent de 50 % à 100 % et parfois même plus (Uphoff, 2008). Zhao et al. (2009) confirme l'effet positif du SIR sur la production de riz et l'efficacité dans l'utilisation de l'azote et de l'eau. Gathorne-Hardy et al. (2013) ont montré que les méthodes du SIR ont permis d'augmenter la production de paddy jusqu'à 58 %, tout en réduisant les applications en eau. Au même moment, le SIR offre la possibilité de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre en raison du passage des conditions anaérobiques aux conditions aérobiques dans le sol, entraînant une réduction des émissions de  $N_2O$  et une réduction des émissions liées à l'électricité utilisée pour pomper l'eau à des fins d'irrigation (Gathorne-Hardy et al., 2013 ; Dill et al., 2013). Outre l'amélioration de l'efficacité de la production du riz, notamment les besoins en eau pour l'irrigation, les avantages du SIR pris ensemble rendent la production de riz plus respectueuse de l'environnement (Uphoff et Dazzo, 2016). Ils augmentent également la résilience et constituent par conséquent une approche essentielle dans l'adaptation aux changements climatiques (Thakur et al., 2016). La perception des changements climatiques et la nécessité de technologies de conservation de l'humidité constituent un facteur fondamental à l'origine de l'adoption du SIR, en particulier dans les zones arides (Bezabih et al., 2016).

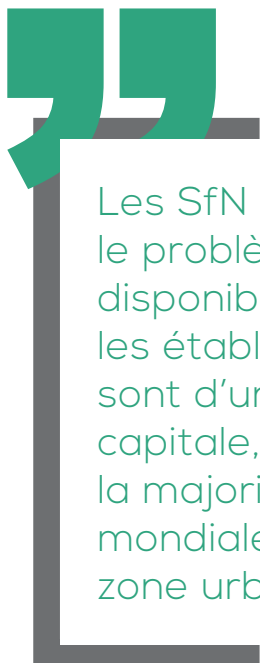
d'environ 1 650 km<sup>3</sup> en termes d'utilisation de l'eau (sur la base de l'augmentation de la productivité primaire nette). Falkenmark et Rockström (2004) ont relevé une amélioration de la productivité de l'eau verte de 1 530 km<sup>3</sup> par an grâce à une combinaison de techniques similaires. Quoique ces auteurs considèrent leurs estimations comme étant conservatrices, ces prédictions restent incertaines. Néanmoins, elles constituent une indication utile de l'échelle des avantages potentiels sur l'offre. Par exemple, les derniers chiffres suggèrent que les gains potentiels sont à peu près équivalents à la production agricole de 50 % des prélèvements d'eau actuels pour l'irrigation, ou 35 % du total des prélèvements d'eau. Ce chiffre est supérieur à l'accroissement de la demande mondiale des ressources en eau projetée d'ici à 2050. Lorsqu'on y ajoute d'autres mesures visant à améliorer la durabilité, ces avantages sont encore plus impressionnants. Par exemple, un examen des projets de développement agricole dans 57 pays à faible revenu a révélé qu'une utilisation plus efficace de l'eau, une réduction de l'utilisation des pesticides et des améliorations dans la santé du sol avaient entraîné des augmentations de la production agricole de l'ordre de 79 % (Pretty et al., 2006).

Il existe également d'innombrables opportunités de recours aux Sfn pour améliorer l'efficacité dans l'utilisation de l'eau aux fins d'irrigation et celles-ci peuvent avoir un impact élevé en raison du fait que l'irrigation représente 70 % des prélèvements d'eau actuels (GEHN, 2015). Les Sfn pour

l'amélioration de l'efficacité dans l'utilisation de l'eau sont basées sur l'amélioration de la gestion des bassins hydrographiques en vue d'améliorer la recharge des eaux souterraines et des réservoirs (voir encadré 2.1), y compris par une réduction de l'envasement qui augmente la capacité de stockage des réservoirs et par l'amélioration de la santé du sol (en ce qui concerne les systèmes pluviaux), grâce à une rétention accrue de l'humidité du sol, par exemple. Une meilleure gestion de l'écosystème du sol dans les champs irrigués peut également générer des économies d'eau significatives (voir encadré 2.4).

Les avantages environnementaux partagés des approches Sfn et de bien d'autres approches de même nature pour l'accroissement de la production agricole durable sont considérables – largement influencés par la diminution des pressions sur la conversion des terres et la réduction de la pollution, de l'érosion et des besoins en eau. Par exemple, les systèmes alimentaires (c'est-à-dire à la fois les modes de consommation alimentaire et les méthodes de production alimentaire) représentent 70 % des pertes de biodiversité attendues d'ici à 2050 avec le scénario du maintien du statu quo (Leadley et al., 2014).

Les Sfn offrent également des opportunités pour la réduction des conflits entre les secteurs en ce qui concerne l'utilisation de l'eau à travers l'amélioration de la performance du système. Par exemple, des tensions ont éclaté entre les intérêts miniers et agricoles de la



Les SfN visant à résoudre le problème de la disponibilité de l'eau dans les établissements humains sont d'une importance capitale, étant donné que la majorité de la population mondiale vit à présent en zone urbaine

province du Limpopo, en Afrique du Sud, où le barrage de Njelele, principalement utilisé pour l'agriculture, risque d'être totalement ensablé dans une dizaine d'années à cause de la mine voisine de Makhado. Cependant, une mine à ciel ouvert prévue de 20 kilomètres de long et d'un kilomètre de large permettra d'utiliser des déchets rocheux pour construire un aquifère artificiel afin de remplacer la fonction du barrage de Njelele en tant que dispositif de stockage, réduisant ainsi les conflits éventuels (Turton et Botha, 2013). La zone est également affectée par les changements climatiques, certains modèles présentant une augmentation potentielle de 2 degrés centigrades de la température ambiante (Scholes et al., 2015), causant des pertes par évaporation massives d'un réservoir et soulignant le besoin d'un stockage sous la surface (voir encadré 2.1). Cela permet de répondre aux besoins de la société, en créant une nouvelle licence sociale à exploiter dans une zone où l'eau est limitée.

### 2.2.2 Établissements urbains

Les SfN visant à résoudre le problème de la disponibilité de l'eau dans les établissements humains sont d'une importance capitale, étant donné que la majorité de la population mondiale vit à présent en zone urbaine. La gestion de l'écoulement des eaux dans les paysages urbains peut améliorer la disponibilité des ressources en eau (Lundqvist et Turton, 2001). Un large éventail de possibilités peut être examiné. Plusieurs SfN sont multifonctionnelles, portant à la fois sur la disponibilité de l'eau (pénurie/approvisionnement), la qualité de l'eau et les risques qui s'y rapportent. Celles-ci peuvent être regroupées en différentes catégories :

- La gestion des bassins hydrographiques en dehors des zones urbaines qui améliore l'approvisionnement de ces zones (notamment les sources d'eaux de surface et d'eaux souterraines) – qui va presque toujours de pair avec l'amélioration de la qualité de l'eau.

- Amélioration du recyclage de l'eau dans les cycles de l'eau en milieu urbain, par exemple la réutilisation des eaux usées rendue possible par les SfN afin d'améliorer la qualité des eaux usées (voir le chapitre 3 ; WWAP, 2017).
- Le déploiement d'infrastructures vertes dans les limites des zones urbaines.

Les mesures de captage visant à améliorer l'approvisionnement en eau des villes sont traitées plus en détail dans les chapitres 3 et 5, qui soulignent leur impact sur l'amélioration de la qualité de l'eau. Toutefois, ces mesures peuvent également améliorer directement la quantité de l'eau disponible aux utilisateurs urbains en utilisant la capacité des infrastructures naturelles des bassins hydrographiques à stocker et libérer naturellement de l'eau, et en particulier réguler les écoulements en aval (et la recharge des eaux souterraines). Ceci est particulièrement bénéfique, car il permet de réguler les variations de l'offre et de réduire la pénurie d'eau pendant les périodes de sécheresse. Ces attributs des paysages naturels fonctionnent généralement en harmonie avec les approches d'infrastructures grises en matière d'approvisionnement en eau en milieu urbain qu'elles améliorent par ailleurs (voir encadré 2.5).

Les infrastructures vertes gagnent progressivement en popularité, comme en témoigne, la croissance des investissements, par exemple (Bennett et Ruef, 2016). Les infrastructures vertes (voir chapitre 1, section 1.3.7) sont modernisées en vue d'améliorer la performance hydrologique des paysages urbains plus anciens ou incorporées dans la conception de nouvelles zones, en raison de leur rapport coût-efficacité et de leurs multiples avantages (PNUE-DHI/UICN/TNC, 2014). Des exemples de mesures visant à réguler l'approvisionnement en eau en faveur des établissements urbains comprennent entre autres le reboisement, la restauration ou la construction de zones humides, de nouvelles connexions entre les rivières et les plaines d'inondation, la collecte de l'eau, les revêtements de sols perméables et les espaces verts (biorétention et infiltration). Les infrastructures vertes urbaines rétablissent et gèrent essentiellement les voies hydrologiques dans l'interface terre/eau et, partant, le sort des précipitations, y compris le ruissellement et la recharge des eaux souterraines. Cette régulation des flux d'eaux urbains accroît notamment le stockage urbain de l'eau et donc la résilience aux variations dans la disponibilité de l'eau, que ce soit pour la gestion des inondations ou en tant que tampon contre la pénurie d'eau. Les jardins potagers urbains contribuent également à accroître l'utilisation des précipitations urbaines et à réduire la demande en eau pour l'irrigation dans les zones rurales tout en raccourcissant les chaînes d'approvisionnement alimentaire, ce qui se traduit par des économies d'eau supplémentaires grâce à l'évitement du gaspillage alimentaire. Les infrastructures urbaines vertes peuvent également améliorer de manière significative les climats urbains à travers les effets d'ombrage et de refroidissement de l'évaporation, améliorant ainsi la qualité de vie des citoyens comme avantage partagé.

## LA RESTAURATION DES PAYSAGES CONTRIBUE À L'AMÉLIORATION DES RÉSULTATS LIÉS À L'EAU POUR LE FLEUVE TANA AU KENYA

Le fleuve Tana au Kenya fournit 80 % de l'eau potable à Nairobi, génère 70 % de l'hydroélectricité du pays et irrigue environ 645 km<sup>2</sup> de terres agricoles. Des pentes raides et les zones adjacentes aux cours d'eau ont été converties en terres agricoles, avec pour corollaires des érosions. La sédimentation a réduit la capacité des réservoirs et augmenté les coûts liés au traitement de l'eau à Nairobi. Un investissement de 10 millions de dollars américains dans la gestion durable des terres sera réalisé sur 10 ans, avec pour retombées des avantages économiques évalués à 21,5 millions de dollars américains sur une période de 30 ans. Les interventions comprennent : l'amélioration de la gestion des zones riveraines, le terrassement des pentes, le reboisement des terres dégradées, les mesures visant à encourager la plantation de bandes de gazon dans les exploitations agricoles et l'atténuation de l'érosion des routes. En termes d'approvisionnement en eau, la capacité de stockage des réservoirs sera maintenue en raison de la réduction de la sédimentation. Les recettes de la société hydroélectrique augmenteront comme conséquence directe de cette action. Services des eaux et des égouts de la ville de Nairobi (NCWSC) a également bénéficié des avantages de la filtration évitée, de la réduction de la consommation d'énergie et de la réduction des coûts liés à l'élimination des boues. Les avantages liés à la réduction de la sédimentation sont maintenus dans divers scénarios de changement climatique.

Sources : Baker et al. (2015) ; TNC (2015) ; et Simmons et al. (2017).

Les bâtiments écologiques constituent un phénomène émergent qui débouche sur l'élaboration de nouveaux repères et normes techniques qui englobent plusieurs solutions fondées sur la nature. À cet égard, il est crucial de mettre en cohérence les exigences réglementaires afin d'encourager, voire d'imposer, les SfN comme une nouvelle norme (question examinée plus amplement au chapitre 6). Le concept et programme de « ville-éponge » de la Chine représente parfaitement l'amélioration des approvisionnements en eau urbains à grande échelle grâce aux SfN qui s'appuient largement sur le déploiement d'infrastructures vertes dans les paysages urbains, principalement pour améliorer la disponibilité de l'eau (voir encadré 2.6).

En ce qui concerne l'appui à l'expansion des SfN dans les villes, la CESAP (2017), par exemple, a dispensé un cours d'apprentissage en ligne au rythme de l'apprenant sur la *transition vers une infrastructure résiliente à l'eau et des villes durables*. Les liens entre les ODD 6, 8, 11 et 13 sont présentés avec un aperçu des meilleures pratiques, des notes d'orientation, des stratégies holistiques et des approches de bonne gouvernance urbaine. L'objectif est de sensibiliser les décideurs politiques et de promouvoir l'exploitation du plein potentiel des infrastructures résilientes à l'eau, en vue de créer des villes inclusives, sûres et durables en harmonie avec les ODD.

### 2.2.3 Énergie et industrie

En ce qui concerne la production de l'énergie, les biocarburants et l'hydroélectricité constituent des SfN particulièrement pertinents. Les cultures de biocarburants utilisent potentiellement de grandes quantités d'eau et peuvent augmenter la pénurie d'eau, entre autres impacts (Mielke et al., 2010). Cependant, les SfN pour les cultures de biocarburants sont essentiellement les mêmes que celles qui concernent l'agriculture, comme décrit plus haut dans la section 2.2.1. Les applications



Les infrastructures vertes gagnent progressivement en popularité, comme en témoigne, la croissance des investissements, par exemple

des SfN pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau aux fins de la production d'énergie hydroélectrique impliquent essentiellement des approches améliorées de gestion des bassins hydrographiques pour réguler l'approvisionnement en eau des centrales hydroélectriques (généralement à travers des réservoirs) et des réductions des charges sédimentaires dans les réservoirs en vue d'augmenter l'efficacité de stockage du barrage (et les coûts de fonctionnement des centrales). L'encadré 2.5 présente une étude de cas du bassin hydrographique du fleuve Tana (Kenya) où parmi les avantages des SfN figurent l'augmentation des recettes de la société de production d'énergie hydroélectrique du fait de l'amélioration de l'approvisionnement en eau du réservoir. Les avantages des SfN en ce qui concerne l'amélioration de l'efficacité de l'exploitation des barrages hydroélectriques peuvent être considérables et illustrent parfaitement la complémentarité des infrastructures vertes et grises (voir encadré 2.7).



## CONCEPT DE « VILLE-ÉPONGE » DE LA CHINE

Le gouvernement central de la Chine a récemment lancé le projet « ville-éponge » dans le but d'améliorer la disponibilité de l'eau dans les établissements urbains. Le concept de « ville-éponge » utilise une combinaison de SfN et d'infrastructures grises pour conserver les eaux de ruissellement urbain et les réutiliser par la suite. L'objectif du projet est « d'absorber et de réutiliser 70 % de l'eau de pluie grâce à l'amélioration de la perméation, la rétention, le stockage, la purification et le drainage de l'eau, ainsi qu'en économisant et en réutilisant l'eau. Cet objectif devrait être atteint par 20 % des zones urbaines d'ici à 2020 et par 80 % des zones urbaines d'ici à 2030 » (Ambassade du Royaume des Pays-Bas en Chine, 2016, p. 1). Grâce au projet « ville-éponge », les impacts négatifs de la construction urbaine sur les écosystèmes naturels devraient être atténués.

« Le déploiement à l'échelle de la ville de SfN telles que les toits verts, les revêtements de sols perméables et la biorestauration ainsi que la restauration des zones humides et des rivières urbaines et périurbaines sont au cœur de l'initiative nationale » (Xu et Horn, 2017, p. 1).

D'ici à 2020, 16 « villes-éponges » pilotes seront construites sur une surface de plus de 450 km<sup>2</sup>, avec plus de 3 000 projets de construction envisagés et des investissements d'un montant total de 8,65 milliards de yuan renminbi (environ 1,25 milliard de dollars américains) (Ambassade du Royaume des Pays-Bas en Chine, 2016). Comme premiers résultats, on peut citer l'atténuation de l'engorgement urbain, l'amélioration des écosystèmes liés à l'eau, la promotion du développement industriel et l'amélioration de la satisfaction générale du public. La planification de la politique centrale, activement alignée sur la mise en œuvre au niveau local, a intégré le concept de « Ville-éponge » dans la planification réglementaire urbaine et la restauration écologique au niveau de la ville et du district dans les provinces de Shenzhen et de Guangdong.

Parmi les mesures, on peut citer l'installation de toits verts, de murs et de revêtements de sols perméables, ainsi que la revitalisation des lacs et des zones humides dégradés, qui absorbent l'excédent d'eau de pluie. Les jardins pluviaux et les rigoles de biorétention sont ensuite utilisés pour collecter les eaux de ruissellement et éliminer certains polluants. Une partie de cette eau est par la suite renvoyée dans le système naturel et stockée afin d'assurer la disponibilité de l'eau à des fins d'irrigation et de nettoyage pendant les périodes de sécheresse (Xu et Horn, 2017).

*Contribution de la CESAP.*



Photo : © Syrnx/Shutterstock.com

La relation entre les écosystèmes et le lien eau-énergie et les réponses possibles aux défis qui se posent, grâce à une approche GIRE/écosystème, à l'aide d'outils tels que le PSE, la gestion durable des barrages et les investissements stratégiques dans les bassins hydrographiques, ont été examinés plus en profondeur dans le chapitre 9 du WWAP (2014), qui fournit des détails et des références supplémentaires.

Le secteur industriel fait de plus en plus la promotion des SfN pour améliorer la sécurité hydrique pour les besoins de ses opérations. Le Conseil mondial des entreprises pour le développement durable (WBCSD, 2015a) a établi une liste des 200 principales entités qui ont adopté les SfN. Par exemple, le Groupe Volkswagen au Mexique exploite une usine de production dans la vallée de Puebla Tlaxcala où l'approvisionnement en eau est insuffisant pour la ville en expansion de Puebla. L'entreprise a noué un partenariat avec la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Commission nationale des aires naturelles protégées) en vue de garantir un approvisionnement en eau fiable. L'analyse a révélé que la reconstitution des eaux souterraines dans la vallée était fortement tributaire de la fonctionnalité des écosystèmes et que la déforestation sur les pentes volcaniques avait augmenté le ruissellement de l'eau, réduisant ainsi la recharge des aquifères. En six ans, la plantation d'arbres, les fosses et les berges de terre ont permis de fournir plus de 1,3 million de m<sup>3</sup> d'eau supplémentaire par an pour la recharge des aquifères – plus d'eau que le groupe Volkswagen au Mexique n'en consomme annuellement (WBCSD, 2015b).

En 2013, l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONU DI) a piloté la Déclaration de Lima sur le développement industriel inclusif et durable (DIID), dont le point 7 appelle à la promotion de l'utilisation, la gestion et la protection durables des ressources naturelles et des services écosystémiques qu'ils fournissent » (ONU DI, 2013, point 7). Cette démarche a enclenché une dynamique autour du sujet, menant à l'élaboration du Programme de développement durable à l'horizon 2030, en particulier les Cibles 6.4 et 6.6 sur la pénurie d'eau et les écosystèmes, respectivement (WWAP, 2015). Il fournit un exemple de la manière dont les SfN sont intégrées dans les cadres de réformes des politiques pertinentes.

#### 2.2.4 Lutte contre la désertification

La désertification découle de multiples pressions, mais le processus est un résultat direct de (si non défini par) la dégradation de la capacité du sol à retenir de l'eau. La désertification et ses corollaires que sont la dégradation des terres et la sécheresse, en tant que catastrophes naturelles, sont abordés plus en détail au chapitre 4, mais les exemples de SfN qui restaurent l'eau dans les paysages, y compris les eaux souterraines et agricoles, sont des approches reconnues en matière de lutte contre la désertification (ainsi que la dégradation des terres et la sécheresse) lorsqu'elle est appliquée dans des zones vulnérables pertinentes. Étant donné que la dégradation des écosystèmes est la cause sous-jacente de

### ENCADRÉ 2.7

#### LES SERVICES DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES MULTIPLIENT PAR CINQ LA DURÉE D'EXPLOITATION PRÉVUE DU BARRAGE HYDROÉLECTRIQUE D'ITAIPU DANS LE BASSIN DE PARANÁ AU BRÉSIL

L'efficacité de la production hydroélectrique du barrage-réservoir d'Itaipu dans le bassin du Paraná III, situé dans la partie occidentale de l'État de Paraná au Brésil, à la frontière avec le Paraguay, est affectée par la gestion des sols dans le bassin hydrographique. Les sédiments qui pénètrent dans le réservoir réduisent le stockage et raccourcissent la durée de vie du réservoir, tout en augmentant les coûts d'entretien et, partant, les coûts de production de l'électricité, ce qui constitue une incitation financière pour l'amélioration de la gestion des bassins hydrographiques. Le programme *Cultivando Água Boa* (culture de la bonne eau) a établi une relation de partenariat avec les agriculteurs en vue d'atteindre des objectifs mutuels de durabilité (Mello et Van Raij, 2006 ; Itaipu Binacional, s.d.). L'une des composantes essentielles du programme *Cultivando Água Boa* est le partenariat mis en place à travers la Fédération brésilienne pour la culture sans labour (FEBRAPDP) qui comprend la mesure des impacts de la gestion des exploitations grâce à un système de notation indiquant à quel point chaque exploitation contribue à améliorer les conditions de l'eau (Laurent et al., 2011). Ce partenariat permet aux agriculteurs d'être considérés comme des « producteurs d'eau » par l'Agence nationale de l'eau, qui attribue des valeurs aux services écosystémiques générés par les exploitations participant au programme et compense les agriculteurs pour leur approche proactive (ANA, 2011). Dans l'ensemble, l'espérance de vie du complexe du barrage a augmenté par rapport à son chiffre initial d'environ 60 ans, lorsque le barrage a été construit, à environ 350 ans. De plus, il en découle d'autres avantages environnementaux (tels que la réduction du ruissellement des nutriments) et, surtout, l'augmentation de la productivité et de la durabilité des exploitations agricoles, présentant un scénario gagnant-gagnant pour les agriculteurs et la société hydroélectrique.

la désertification, les SfN constituent le seul moyen de lutte à grande échelle possible. Les SfN sont, par conséquent, à l'avant-garde des efforts de restauration de la productivité des terres dans les zones affectées. Par exemple, la CNUCLD encourage l'adoption des SfN comme principal moyen de lutte contre la dégradation des terres (CNUCLD Interface Science-Politique, 2016). Le recyclage de l'humidité, la rétention de l'eau dans le sol et les avantages accrus en termes d'infiltration qui découlent de la restauration des paysages sont essentiels à ces approches.

### 2.2.5 Eau, assainissement et hygiène

La contribution des SfN à l'amélioration des résultats relatifs à l'eau, l'assainissement et l'hygiène porte principalement sur la qualité de l'eau, certes (voir chapitre 3), il est plus facile d'atteindre les objectifs en termes d'eau, d'assainissement et d'hygiène lorsqu'il y a suffisamment d'eau pour tous les usages – domestique, industriel et agricole – et que l'approvisionnement est géré efficacement de manière à prévenir la contamination. L'atténuation des effets de la désertification, de la dégradation des terres et de la sécheresse ne constitue qu'un exemple parmi d'autres dans lequel les SfN soutiennent les résultats liés à l'eau, l'assainissement et l'hygiène par l'amélioration de la disponibilité et de l'accessibilité des ressources en eau. Les avantages des SfN favorisent souvent les groupes les plus défavorisés et les plus vulnérables, tels que les communautés minoritaires, les communautés rurales et les femmes. Une approche basée sur les SfN peut améliorer la santé publique, en particulier dans les pays en développement, aidant à assurer une meilleure qualité de l'eau et un assainissement adéquat (Brix et al., 2011).

## 2.3 L'influence du recyclage de l'humidité sur la disponibilité de l'eau

Le chapitre 1 (voir section 1.3.3) met en évidence l'influence importante des flux d'évaporation sur le recyclage de l'eau aux niveaux régional et mondial et les précipitations subséquentes. Cette influence sur la disponibilité de l'eau peut être importante : par exemple, 70 % des précipitations du bassin du Río de la Plata en Argentine/Uruguay proviennent de l'évaporation de la forêt amazonienne (Van der Ent et al., 2010). Les décisions relatives à l'utilisation des terres à un endroit donné peuvent par conséquent influencer considérablement la disponibilité de l'eau dans des régions éloignées. Ceci est particulièrement important étant donné que la destruction de la végétation a probablement les impacts les plus sévères sur les précipitations dans les zones plus sèches, contribuant à une raréfaction de l'eau, à la dégradation des terres et à la désertification (Keys et al., 2016).

L'influence de l'UTCAT sur le mouvement de l'humidité et les précipitations qui s'en suivent remet en question le « bassin hydrographique » comme étant l'unité de gestion commune, indiquant que les « bassins hydrographiques atmosphériques » également connus sous le nom « bassins de précipitations » (Keys et al., 2016) devraient également être pris en compte. Toutefois, il en résulte des défis considérables pour la gouvernance de la disponibilité des ressources en eau (Keys et al., 2017). Très peu d'efforts sont fournis actuellement pour examiner cet aspect de la gestion des ressources en eau,


certes, mais il en existe quelques exemples. Le Fonds pour l'environnement mondial soutient un programme multifonctionnel à l'échelle du paysage qui reconnaît le rôle crucial du bassin de l'Amazonie dans la régulation climatique aux plans régional et mondial, avec un coût d'investissement de 683 millions de dollars américains, y compris un cofinancement (FEM, 2017). Le programme vise à améliorer les politiques, les investissements dans les aires protégées et la gestion intégrée du paysage, afin d'éviter, entre autres, le risque élevé que l'ensemble de l'écosystème amazonien atteigne un point de non-retour dans le dépérissement des forêts naturelles à cause de la sécheresse et du feu. Un tel événement serait extrêmement difficile à arrêter et aurait des conséquences socioéconomiques très importantes en raison de la réduction de la disponibilité de l'eau pour, l'agriculture qui en dépend, entre autres (pratiquée principalement à l'extérieur du bassin) et l'espérance de vie des infrastructures énergétiques régionales (c'est-à-dire les barrages).

## 2.4 Les enjeux liés à l'adoption des SfN pour assurer la disponibilité de l'eau

Parmi les principaux défis qui se posent à la mise à l'échelle des applications de SfN pour la plupart des acteurs, y compris les autorités de régulation, les gouvernements locaux, le secteur industriel, les entreprises, l'agriculture et la société civile figurent :

**Des environnements politiques favorables.** Les environnements politiques découragent souvent et, dans certains cas, interdisent l'adoption des SfN. Un environnement politique favorable est nécessaire pour promouvoir l'adoption des SfN lorsque cela est justifié. Par exemple, en agriculture, les subventions et les incitations accordées aux agriculteurs doivent souvent être réorientées afin de promouvoir la durabilité, y compris l'adoption des SfN. Les SfN devraient également être davantage intégrées dans un éventail plus large de meilleures pratiques d'entreprise et exploiter différentes opportunités de promotion de l'image de marque, pénétrer de nouveaux marchés ou changer les perceptions du public en matière de responsabilité civique des entreprises (WBCSD, 2015a).

**La sensibilisation/les perceptions.** Beaucoup reste à faire pour établir une meilleure base d'information et mieux faire connaître les SfN. Les pénuries d'eau et les situations extrêmes (inondations et sécheresses) créent des moments où la sensibilisation est accrue, ce qui augmente la possibilité d'envisager des SfN. La société civile est un acteur clé qui influence les environnements politiques et les investissements, et peut être mieux informée. Les petites et moyennes entreprises prises ensemble ont un impact étendu et doivent être mieux informées et impliquées.



Bien qu'elles soient incluses en théorie dans les principes de la GIRE, les SfN ne sont pas bien intégrées dans les approches de GIRE et y sont parfois absentes

**Des enjeux techniques.** Plusieurs intervenants sont souvent réticents au risque, préférant généralement des solutions éprouvées, ce qui constitue un obstacle à l'adoption de solutions d'ingénierie de rechange (non conventionnelles). Étant donné que l'efficacité des SfN varie considérablement au niveau local (Burek et al., 2016), il est essentiel qu'elles soient soigneusement planifiées, conçues et exécutées pour aider les planificateurs/ingénieurs à choisir le bon emplacement et la bonne SfN à adopter afin d'en tirer le maximum d'avantages. Cela nécessite à son tour une évaluation fiable des performances attendues pendant la phase de conception, qui débouche sur une analyse coûts-avantages plus précise. Il y a un argument commercial très solide à faire valoir en faveur d'un partenariat avec la nature, mais cela doit généralement être prouvé, car étant souvent considéré comme « solution de rechange » plutôt que comme tendance dominante. Cependant, lorsque les grandes entreprises procèdent à des évaluations détaillées et mettent en œuvre des SfN, les résultats peuvent être significatifs, comme en témoigne l'initiative d'empreinte sur l'eau lancée en 2009 par SAB-Miller conjointement avec le Fonds mondial pour la nature (WWF)<sup>9</sup>. À présent que les SfN sont plus clairement visibles dans certains programmes politiques, elles courent le risque d'être déclassées du fait des applications dans lesquelles le rendement ne satisfait pas les attentes. Pour y remédier, une meilleure base de connaissances sur les SfN est nécessaire, notamment des évaluations scientifiques étendues et impartiales de leur rendement. Certaines SfN peuvent prendre du temps et plusieurs intervenants préfèrent avoir la garantie d'avoir des résultats plus rapidement. Par ailleurs, les SfN sont également mal intégrées dans les disciplines de soutien, telles que l'ingénierie civile, ce qui entraîne une situation de manque de compétences.

**Des enjeux financiers.** Il peut manquer des données fiables pour éclairer les choix d'investissement fondés sur des données probantes. Les SfN ont une variabilité inhérente, en fonction du lieu et d'autres facteurs qui doivent être

compris, si l'adoption doit être suffisamment dépourvue de risque. Des mesures d'incitation financières et des instruments améliorés basés sur le marché en faveur de l'adoption des SfN (voir les sections 5.2.2 et 6.2) aideraient à renforcer l'analyse de rentabilisation et à faciliter la prise de décisions.

**Des enjeux institutionnels.** Les SfN nécessitent souvent des niveaux élevés de coopération intersectorielle et institutionnelle. Une telle coopération devrait être encouragée pour accélérer les actions, en prenant en considération l'intendance des ressources en tant que mécanisme d'engagement. Un environnement politique favorable peut largement contribuer à la promotion de la coopération. Le fait d'exiger que les SfN soient prises en compte dans les choix d'investissement, par exemple, peut stimuler la coopération entre ceux qui disposent de la connaissance en matière de SfN et ceux qui font des choix d'investissement. Les normes, les règlements, les directives et les incitations qui régissent les SfN ne sont pas communs ou uniformes entre les économies nationales. Ils font également peser des contraintes sur l'industrie, qui préfère la certitude.

Les SfN en appellent à des approches améliorées de gestion des ressources en eau à l'échelle du paysage. Depuis des décennies on aspire à la GIRE (Allan, 2003), mais cette approche a souvent connu des échecs en raison d'intérêts sectoriels, d'obstacles politiques et de gouvernance (Jønch-Clausen, 2004) et de l'absence de responsabilité collective (Goldin et al., 2008). En outre, bien qu'elles soient incluses en théorie dans les principes de la GIRE, les SfN ne sont pas bien intégrées dans les approches de GIRE et y sont parfois absentes. Par exemple, les responsables de la gestion de l'eau fonctionnent en général en vase clos. Or, la gestion intégrée des terres et de l'eau est nécessaire (Bossio et al., 2010). Le concept de gestion intégrée des terres et des ressources en eau continue de gagner du terrain partout dans le monde, l'accent étant de plus en plus mis sur l'inclusion des services écosystémiques comme avantages quantifiables. Étant donné que les SfN sont en fonction de l'échelle et impliquent de multiples services écosystémiques en plus de la régulation de l'eau, il est généralement nécessaire de prendre en compte l'échelle (Hanson et al., 2012). En outre, il est nécessaire d'accorder une attention soutenue à la gestion des impacts de l'utilisation des terres et de l'eau sur les zones côtières et les ressources marines. Le modèle « de la source à la mer » (S2S) (voir encadré 2.8) est une approche qui favorise de tels mécanismes de gouvernance intégrée à l'échelle du paysage qui peuvent équilibrer les objectifs de développement intersectoriels, en tenant compte des flux de services écosystémiques et en permettant la coordination et l'intégration des différents objectifs de gestion (Granit et al., 2017). De telles approches doivent également établir le lien entre les cycles de l'eau, les déchets et l'énergie (FAO, 2014c).

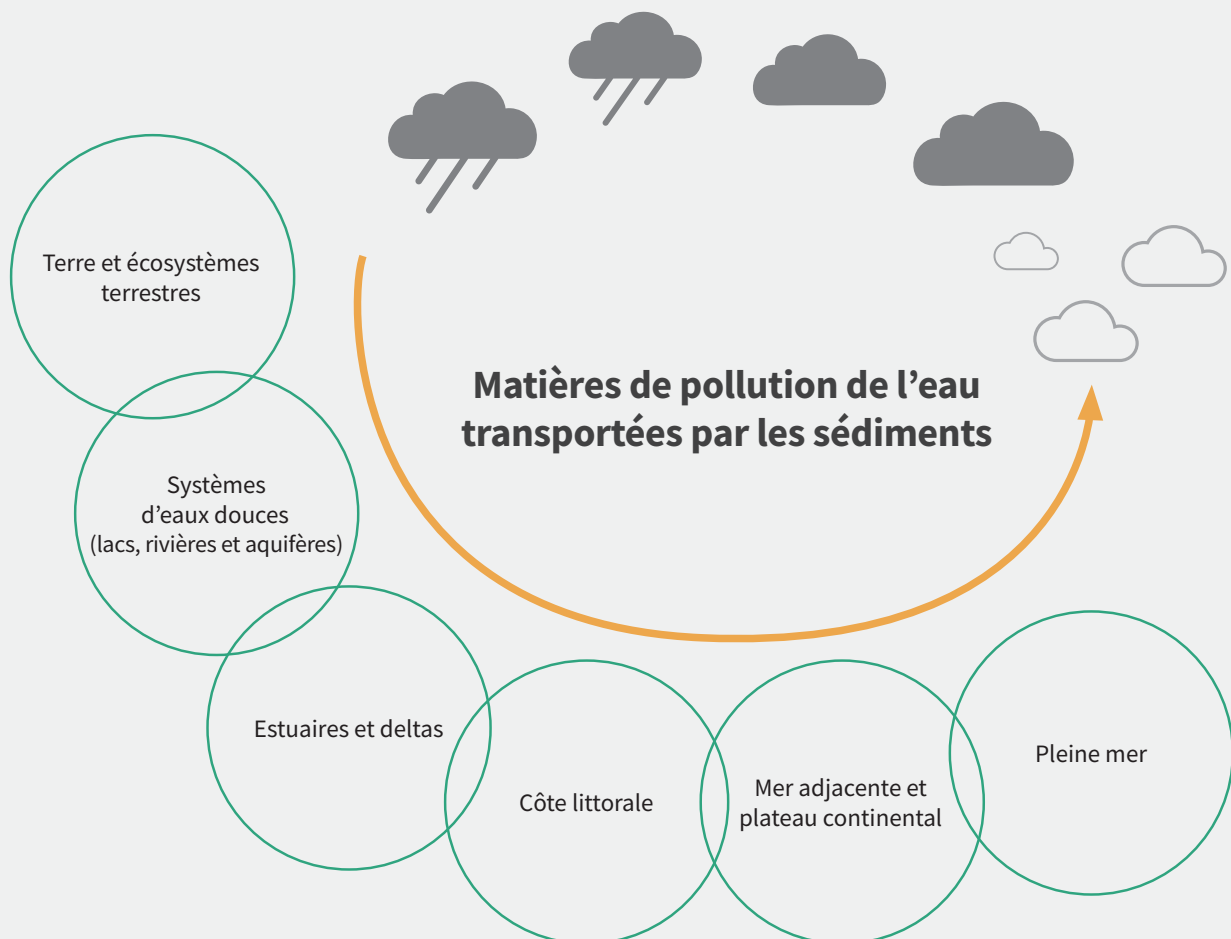
<sup>9</sup> Pour de plus amples informations, veuillez consulter : [www.wwf.org.uk/updates/wwf-and-sabmiller-unveil-water-footprint-beer](http://www.wwf.org.uk/updates/wwf-and-sabmiller-unveil-water-footprint-beer) (en anglais seulement).

## L'APPROCHE S2S

L'approche « de la source à la mer » (S2S) intègre et tient compte des interdépendances entre la gestion des terres et des eaux situées en amont et la qualité des deltas et zones côtières situés en aval, interconnectés par des écoulements de surface, des écoulements souterrains, des fleuves, des réseaux canalisés et des tracés infrastructurels.

L'approche S2S tient compte de l'interface dynamique entre la terre et les océans – qui représente un défi environnemental et de développement majeur de notre ère – pour faire face aux pressions croissantes et à la dégradation des ressources foncières et hydriques qui affectent particulièrement les pauvres qui ne sont pas en mesure de pallier cela en adoptant des mesures onéreuses. Les facteurs directs et indirects des ressources terrestres et hydriques en amont se traduisent par un accroissement des pressions en aval, y compris dans les estuaires et dans les zones côtières et au-delà jusqu'aux océans. Les communautés situées en aval sont le plus souvent incapables d'influencer ou de gérer ces facteurs en amont. De plus, une collaboration internationale étroite entre les pays qui partagent les bassins hydrographiques est nécessaire pour consolider la gestion concertée des terres et de l'eau qui permet de garantir une disponibilité à long terme de flux d'eau transfrontaliers en fonction de la qualité requise. L'approche S2S fournit une approche de gestion de ces menaces, car elle tient compte des utilisations des terres et de l'eau dans les zones montagneuses et les bas-fonds ainsi que des besoins de ceux qui dépendent des ressources côtières et marines.

Figure | Les principaux flux d'eau, de sédiments, de pollution et de matériaux établissent des liens entre les secteurs géographiques de la source à la mer



Source : Adapté de Granit et al. (2017, fig. 1, p. 5).

## 2.5 Les SfN, la disponibilité de l'eau et les ODD

L'utilisation durable des ressources constitue un aspect transversal des ODD, tout comme la disponibilité de l'eau. L'absence d'une eau suffisante fait peser une contrainte sur l'essentiel des progrès économiques et sociaux. Les rapports entre l'eau et l'assainissement d'un ODD à l'autre ainsi que leurs cibles ont été examinés par ONU-Eau (2016a). Les SfN en faveur de la disponibilité de l'eau contribuent à toutes les Cibles de l'ODD 6 (sur l'eau) qui se traduisent à leur tour par des avantages améliorés en termes de disponibilité de l'eau en général. Il existe cependant de nombreuses approches de gestion de la disponibilité de l'eau, notamment par la gestion de la demande, l'amélioration de la qualité de l'eau et la réutilisation et l'amélioration des infrastructures grises, en plus des SfN. Les liens entre les SfN et les ODD relatifs à la qualité de l'eau et la réduction des risques sont traités respectivement aux chapitres 3 et 4, tandis que le chapitre 7 fournit une évaluation générale des opportunités globales. Le fait que de nombreux ODD soient reliés entre eux par des problèmes liés à l'eau fait qu'il est difficile d'isoler les SfN pour remédier à la pénurie d'eau de la gestion des terres et de l'eau de manière générale. Par conséquent, cette section met en exergue certains des domaines dans lesquels les SfN offrent des opportunités prometteuses en ce qui concerne la disponibilité de l'eau par rapport à d'autres solutions, en tenant compte des complexités de ce sujet.

Comparativement à d'autres solutions, l'agriculture est de loin le secteur dans lequel les SfN ont le potentiel le plus élevé en termes d'amélioration de la disponibilité de l'eau, grâce à des gains d'efficacité dans les systèmes pluviaux et irrigués. Il s'agit donc d'un élément clé pour la réalisation de l'ODD 2 (« Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable ») et en particulier sa Cible 2.4 (« ... assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols »), soutenant ainsi la réalisation d'autres Cibles de l'ODD 2 qui, à leur tour, apportent de nombreuses autres améliorations dans le bien-être humain (notamment la santé, la réduction de la pauvreté et la durabilité environnementale). Les SfN en faveur de la disponibilité de l'eau dans les zones urbaines et pour les zones urbaines constituent un autre domaine prometteur, comparativement aux autres solutions, et contribue ainsi à l'ODD 11 (« Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs,

Comparativement à d'autres solutions, l'agriculture est de loin le secteur dans lequel les SfN ont le potentiel le plus élevé en termes d'amélioration de la disponibilité de l'eau, grâce à des gains d'efficacité dans les systèmes pluviaux et irrigués

résilients et durables »). Les avantages partagés des SfN en ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau, et surtout leur capacité à améliorer les impacts externes de l'agriculture sur les écosystèmes, offrent d'excellentes opportunités d'apporter une contribution importante à la réalisation des ODD 12 (« Établir des modes de consommation et de production durables ») et 15 (« Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité »). Il y a lieu de noter particulièrement que les SfN constituent le moyen le plus pratique de lutter contre la désertification et, partant, réaliser la Cible 15.3 (« lutter contre la désertification, restaurer les terres et sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations, et s'efforcer de parvenir à un monde sans dégradation des terres »). Dans la mesure où les SfN atténuent les impacts en aval dans les zones côtières/marines, elles offrent également de grandes possibilités de contribuer à la réalisation de l'objectif 14 (« Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable »). Étant donné que la plupart des SfN impliquent l'amélioration de la résilience du système et, dans de nombreux cas, l'accroissement du stockage du carbone (notamment par la gestion du sol et de la végétation), elles contribuent également à l'ODD 13 (« Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions »).

De nombreuses autres interconnexions pourraient être signalées, certaines présentant également un fort potentiel d'application des SfN en faveur de la disponibilité de l'eau. Le sujet est examiné plus en profondeur au chapitre 7. En l'état actuel des choses, on retient que les SfN en faveur de la disponibilité de l'eau ont un potentiel très prometteur de contribuer à la réalisation des ODD, soit conjointement avec d'autres approches, soit comme solutions de rechange.

# 3

## LES SfN POUR LA GESTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU



ONU Environnement | Elisabeth Mullin Bernhardt

UNESCO-PHI | Sarantuyaa Zandaryaa, Giuseppe Arduino et Blanca Jiménez-Cisneros

**Avec les contribution de :** Division de l'efficacité des ressources industrielles de l'ONUDI et John Payne (John G. Payne & Associates Ltd) ; Sara Marjani Zadeh (FAO) ; Michael McClain et Ken Irvine (IHE Delft) ; Mike Acreman et Christophe Cudennec (AISH) ; Priyanie Amerasinghe et Chris Dickens (IWMI) ; Emmanuelle Cohen-Shacham (UICN) ; Tatiana Fedotova (WBCSD) ; Christopher Cox (ONU Environnement GPA) ; Maija Bertule (PNUE-DHI) ; David Coates et Richard Connor (WWAP) ; Emily Simmons et Jorge Gastelumendi (TNC) ; et Maria Teresa Gutierrez (OIT)

Une zone humide aménagée dans une station d'épuration des eaux usées



### 3.1 Les enjeux liés à la qualité de l'eau, aux écosystèmes et au développement durable

Les importants défis à relever que posent la pollution et la dégradation de la qualité de l'eau à travers le monde ont pour conséquences les risques liés à l'écosystème et à la santé humaine, la réduction de la disponibilité des ressources en eau douce pour la satisfaction des besoins humains, la capacité des écosystèmes en relation avec l'eau à fournir des biens et services y compris la purification naturelle de l'eau. Entraînée par l'accroissement démographique et l'urbanisation, l'industrialisation, l'expansion et l'intensification de l'agriculture, les impacts des changements climatiques, les preuves de l'ampleur de la dégradation de la qualité de l'eau douce sont innombrables (voir Prologue). La pollution des écosystèmes d'eau douce et, en dernière analyse, celle des écosystèmes côtiers et marins sont particulièrement préoccupantes. Les principaux types de polluants sont formés de produits chimiques et de nutriments. La hausse des niveaux de salinité ainsi que ceux de l'eau, de l'air et des températures peuvent également avoir des impacts significatifs (PNUE, 2016a). La disparition à l'échelle mondiale des zones humides d'eau douce, qui ont une capacité unique de filtrer et d'améliorer la qualité de l'eau, est une préoccupation majeure ; les estimations montrent que l'étendue des zones humides s'est rétrécie de 64 % à 71 % depuis 1900 (Davidson, 2014).

Le ruissellement agricole reste la principale source de charge en éléments nutritifs et autres polluants tels que les pesticides. La mauvaise gestion des eaux usées municipales et industrielles représente une autre source majeure de pollution de l'eau (UNESCO, 2015a), surtout dans les pays à faible revenu où on estime à seulement 8 % la proportion de cette catégorie d'eaux usées qui subit un traitement de toute nature (Sato et al., 2013). L'assainissement mal géré a conduit à la contamination des sources d'eau potable



La baisse de la qualité de l'eau et l'augmentation de sa pollution entraveront la perspective de la réalisation de nombreux ODD, ainsi que d'autres accords internationaux

par des polluants pathogènes, provoquant des maladies d'origine hydrique (PNUE, 2016a). Les ruissellements d'eaux pluviales urbaines polluées, les effluents provenant des industries minières et extractives, y compris les déversements industriels, les charges en sédiments et le transport des déchets solides dans les masses d'eau, ont également des impacts directs sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, causant quelques fois de graves pollutions d'origine chimique et de métaux lourds. Les polluants émergents (notamment les antibiotiques, les hormones et autres produits pharmaceutiques, les produits de soins personnels, les produits chimiques ménagers et industriels) présentent de nouveaux défis à relever en matière de la qualité de l'eau. Par exemple, les germes pathogènes d'origine hydrique multirésistants et les composés perturbateurs du système endocrinien présentent des risques importants pour la santé humaine et les écosystèmes (UNESCO, 2015b). Les données spécifiques sur la gravité de la pollution et la dégradation de la qualité de l'eau manquent souvent, amplifiant encore les défis à relever liés à la gestion de la qualité de l'eau (ONU-Eau, 2016b).

Les changements climatiques participent également à la dégradation de la qualité de l'eau en affectant la quantité de l'eau disponible par saison (ou son manque) et sa température, modifiant ainsi ses paramètres physicochimiques et biologiques (Delpla et al., 2009). Des inondations plus fréquentes et intenses causent la dispersion des contaminants à travers les ruissellements, aussi l'élévation du niveau de la mer entraîne-t-elle une augmentation de la salinité. La raréfaction croissante de l'eau et les changements du cycle hydrologique affectent l'étendue spatiale, la productivité et la fonction des écosystèmes d'eau douce, y compris leur capacité à fournir des services écosystémiques avec des effets qui se répercutent souvent loin en aval ou dans les zones côtières (Parry et al., 2007). Les changements observés dans les précipitations et les débits de cours d'eau qui réduisent la quantité ou la disponibilité de l'eau conduisent aussi directement à une baisse de la qualité de l'eau (Finlayson et al., 2006). Les niveaux de qualité en baisse de l'eau qui en résultent sont en fait eux-mêmes une forme de raréfaction lorsque l'eau n'est plus directement utilisable pour de nombreux usages productifs (Aylward et al., 2005).

La dégradation de la qualité de l'eau se traduit directement par des risques environnementaux, sociaux et économiques, ayant un impact sur la santé humaine. Elle limite la production alimentaire, réduit les fonctions des écosystèmes et entrave la croissance économique (UNESCO, 2015a). Par conséquent, la qualité de l'eau se trouve au cœur du concept de développement durable, qui a été placé au premier plan des actions dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et dans les ODD et est traitée de manière plus approfondie dans la section 3.5 ci-dessous. La baisse de la qualité de l'eau et l'augmentation de sa pollution entraveront la perspective de la réalisation de nombreux ODD, ainsi que d'autres accords internationaux tels que les Objectifs d'Aichi pour la diversité biologique.

## 3.2 Les SfN pour le maintien ou l'amélioration de la qualité de l'eau

### 3.2.1 Protection de la qualité de l'eau à la source

Les bassins hydrographiques sains collectent, stockent, filtrent et distribuent l'eau aux communautés de toutes tailles. La protection des sources d'eau permet aux fournisseurs urbains de réduire les coûts de traitement de l'eau, participe à un meilleur accès à l'eau potable dans les communautés rurales et peut également fournir une eau de bonne qualité pour d'autres utilisations telles que l'irrigation agricole.

Les avantages possibles de la protection des bassins hydrographiques visant à améliorer la qualité de l'eau disponible en faveur des établissements humains, et des villes en particulier, sont énormes. Par exemple, un récent exercice de modélisation effectué par Abell et al. (2017) a estimé que les activités de conservation ou de restauration des terres (telles que la protection des forêts, le reboisement et l'utilisation de cultures de couverture en agriculture) peuvent avoir pour résultat une réduction de l'ordre de 10 % (ou plus) des sédiments ou des nutriments (phosphore) dans les bassins hydrographiques qui couvrent actuellement 37 % de la surface terrestre mondiale libre de glace (4,8 millions de km<sup>2</sup>). Plus de 1,7 milliard de personnes (plus de la moitié de la population urbaine mondiale) vivant dans les 4 000 villes de la zone couverte par cette étude pourraient donc bénéficier de l'amélioration de la qualité de l'eau suite à l'application des SfN à leurs bassins hydrographiques, notamment « 780 de personnes qui vivent dans des bassins hydrographiques se trouvant dans des pays situés dans le dixième pourcentage inférieur de l'indice de développement humain (en 2014) » (Abell et al., 2017, p. 71).

Lorsque forêts, zones humides, prairies, terres et cultures sont bien gérées, ils fournissent une « infrastructure verte » de haute valeur pour améliorer la protection des sources d'eau. Ils jouent un rôle important dans la régulation des débits d'eau et le maintien de la qualité de l'eau grâce à

## LE PROGRAMME DE MISE EN RÉSERVE DES TERRES FRAGILES DES ÉTATS-UNIS VISANT À PROTÉGER LA QUALITÉ DE L'EAU

Le Programme de mise en réserve des terres fragiles (CRP) du Département de l'agriculture des États-Unis (USDA) vise à retirer les terres privées sensibles sur le plan environnemental de la production agricole et à replanter l'herbe et les arbres afin de protéger la qualité de l'eau, réduire l'érosion et accroître l'habitat de la faune. En août 2016, près de 100 000 km<sup>2</sup> de terre étaient inclus dans un contrat CRP.

La participation des agriculteurs au programme est volontaire, car elle implique des actions sur des terres qu'ils possèdent légalement. Les agriculteurs offrent leurs terres pour inclusion au programme et l'Agence des services agricoles évalue et classe les offres grâce à un indice des avantages environnementaux. Les facteurs pris en compte dans l'indice comprennent les avantages liés à la couverture de l'habitat de la faune, les avantages liés à la qualité de l'eau provenant de la réduction de l'érosion, des ruissellements et du lessivage, les avantages de l'exploitation agricole relatifs à la réduction de l'érosion, les avantages durables, les avantages de la qualité de l'air et les coûts.

En récompense pour avoir mis en jachère et revégétalisé les terres, les agriculteurs qui prennent part au programme reçoivent des paiements de loyer et une aide de partage des coûts dans des contrats allant de 10 à 15 ans. Les prix de la location sont payés par an et sont basés sur les taux locaux de location en espèces des terres arides pour terres cultivables. L'aide de partage des coûts est disponible pour payer jusqu'à 50 % des coûts d'établissement de pratiques approuvées visant à atteindre les objectifs de mise en réserve. Chaque année, le programme verse environ 2 milliards de dollars américains aux agriculteurs sous forme de loyers et de partage des coûts.

Le programme a démontré sa capacité à réduire respectivement les ruissellements de l'azote de 90 % et du phosphore de 80 % des fermes. Plus de 110 000 km<sup>2</sup> de zones humides ont été restaurés et l'érosion des sols réduite de 180 millions de tonnes par an. D'autre part, la fixation du carbone est calculée à une moyenne annuelle de 49 millions de tonnes d'équivalent en CO<sub>2</sub>. L'approche améliore également la résilience, la durabilité et la productivité des exploitations.

Sources : USDA Farm Service Agency (2008; 2016).

Contribution de Michael McClain (IHE Delft).

la réduction des charges en sédiments, la prévention de l'érosion des sols et la capture et la rétention des polluants (PNUE-DHI/UICN/TNC, 2014). Les tampons riverains forestiers permettent d'arrêter la pollution des rivières tout en fournissant de l'ombre qui participe à la diminution de la pollution thermique (Parkyn, 2004). Les prairies sont largement utilisées pour gérer la qualité de l'eau et parfois elles fournissent une eau de meilleure qualité que les forêts (voir chapitre 1). Les zones humides situées en amont offrent également d'importants avantages en matière de qualité de l'eau, en raison de leur capacité naturelle à faciliter la filtration des effluents et l'absorption des polluants (TEEB, 2011).

La réhabilitation des paysages, en particulier la restauration des fonctions dans les systèmes agricoles, est aujourd'hui une approche largement répandue et promue à grande échelle. Elle est non seulement efficace pour améliorer la qualité de l'eau, mais aussi elle offre de nombreux avantages (voir encadré 3.1).

De nombreuses interventions relatives à la gestion des terres et ayant pour but de protéger ou de restaurer les bassins hydrographiques sont disponibles et généralement adoptées ensemble, en fonction des circonstances locales (voir tableau 3.1). Elles sont



La réhabilitation des paysages, en particulier la restauration des fonctions dans les systèmes agricoles, est aujourd'hui une approche largement répandue et promue à grande échelle

habituellement soutenues par diverses mesures incitatives et financières et autres telles que, par exemple, les paiements des services écosystémiques (voir section 5.2.2), grâce à la contribution régulière des partenariats public-privé innovants, par exemple divers fonds pour l'eau (voir encadré 3.6) qui fonctionnent dans plusieurs pays.

**Tableau 3.1** Catégories d'activités communes de protection des eaux de source

| Activité de protection de la source d'eau                | Description   | Activité de protection de la source d'eau  | Description  |
|--|---|--|--|
| Protection de terres ciblées                             | <p>La protection de terres ciblées est une expression générique qui englobe toutes les activités entreprises en vue de protéger des écosystèmes ciblés, tels que les forêts, les prairies ou les zones humides. Les exploitations d'agroforesterie – où les arbres ou les arbustes sont plantés au milieu des cultures ou des terres de pâturages – peuvent également faire l'objet de protection.</p> <p>Une protection de terres ciblées est généralement entreprise comme mesure préventive en vue de réduire le risque d'impacts environnementaux néfastes dans le futur, par exemple à travers l'augmentation de la charge de sédiments ou de nutriments qui pourrait résulter d'un changement des usages qui sont faits des terres. En conséquence, ces types d'activités de conservation sont différents de ceux qui sont axés sur la réduction de la charge actuelle de polluants</p>   | Meilleures pratiques en matière d'élevage  | <p>Les meilleures pratiques en matière d'élevage en ce qui concerne les pratiques de gestion des terres d'élevage qui peuvent être mises à profit pour obtenir de multiples résultats environnementaux positifs. Le sylvopastoralisme renvoie à la pratique qui concilie les arbres, les pâturages de fourrages et le bétail.</p> <p>Les meilleures pratiques en matière d'élevage sont en général mises en œuvre pour entretenir ou améliorer la qualité de l'eau et des sols à travers l'amélioration des pratiques de gestion des pâturages, les structures des pâturages (par exemple les voies d'accès, les clôtures, la stabilisation des pentes) ou le traitement des terres (par exemple la gestion des broussailles, l'ensemencement des pâturages, le traitement des contours des prairies). Ces types d'améliorations visent en général à réduire les charges de sédiments et de nutriments (par exemple le phosphore, l'azote), ainsi que les pathogènes potentiellement dangereux dans les déchets d'origine animale.</p>   |
| Revégétalisation   | <p>La revégétalisation implique la restauration des forêts naturelles, des prairies ou d'autres habitats par la plantation (ensemencement direct) ou en favorisant la régénération naturelle; elle comprend le reboisement des pâturages (la restauration active ou passive des forêts dans les pâturages).</p> <p>La revégétalisation restaure la capacité de la nature à : 1) maintenir le sol en place et à réduire l'érosion; 2) filtrer naturellement les polluants des écoulements de surface; et 3) favoriser l'infiltration des eaux de ruissellement dans le sol.</p>  | Gestion du risque d'incendie               | <p>La gestion du risque d'incendie implique le déploiement d'activités de gestion qui diminuent les combustibles forestiers, et réduisent ainsi le risque d'incendies catastrophiques. Encore communément désignée « réduction du combustible forestier », la gestion du risque d'incendie vise à atteindre les objectifs de diminution des combustibles forestiers à travers l'éclaircissage mécanique ou le brûlage dirigé.</p> <p>En général, la gestion du risque d'incendie s'emploie dans les zones où les forêts sont exposées à des feux de brousse catastrophiques. L'élimination brusque du couvert forestier et l'endommagement du couvert végétal et les sols laissés par des feux de brousse catastrophiques peuvent être particulièrement problématiques lorsque le feu est suivi d'un orage de grande envergure, étant donné que ces événements peuvent causer une érosion à grande échelle sur les flancs de colline non sécurisés. Par conséquent, de la même manière que la protection des terres, la gestion du risque d'incendie vise à la fois à préserver l'intégrité des forêts saines et à réduire le risque futur d'accroissement du transport des sédiments et des nutriments, qui est différent des autres activités qui visent à réduire les charges annuelles courantes de polluants.</p> |
| Restauration des zones riveraines                        | <p>La restauration des zones riveraines implique la restauration de l'habitat naturel qui se trouve à l'interface entre la terre et l'eau le long des fleuves, ruisseaux ou lacs. Ces bandes sont souvent désignées tampons riverains</p> <p>Les zones tampons renvoient à la zone de rencontre entre la terre et un ruisseau ou un lac. La restauration des tampons vise à rétablir les fonctions riveraines et les liaisons physiques, chimiques et biologiques afférentes entre les écosystèmes terrestres et aquatiques (Beschta and Kauffman, 2000). Les zones riveraines saines ont pour principales caractéristiques des arbres indigènes ayant des racines profondes qui s'agrippent fermement aux sols. Les herbes et les arbustes constituent également un couvert végétal et des biofiltres importants. Les tampons riverains sont particulièrement importants dans la mesure où ils constituent la dernière barrière protectrice qui empêche les polluants de s'infiltrer dans les cours d'eau. Ils peuvent fournir un habitat indispensable au bord de l'eau, et grâce à l'ombrage qu'ils offrent, ils peuvent aider à réduire les températures de l'eau. La régulation de température influence considérablement la capacité de l'eau à maintenir des niveaux adéquats d'oxygène dissous, peut être déterminante pour la survie des espèces aquatiques et est liée à la réduction de l'incidence des proliférations d'algues (Halliday et al., 2016).</p> | Restauration et création des zones humides | <p>La restauration et la création des zones humides impliquent le rétablissement de l'hydrologie, des plantes et des sols des zones humides précédemment dégradées qui ont été drainées, cultivées ou autrement modifiées, ou l'installation de nouvelles zones humides afin de compenser la perte des zones humides ou de reproduire les fonctions naturelles des zones humides.</p> <p>Les zones humides sont des zones où le sol est recouvert par l'eau tout le temps ou une partie du temps. Les zones humides protègent et améliorent la qualité de l'eau, fournissent un habitat aux poissons et à la faune, stockent les eaux de crues et maintiennent l'écoulement des eaux de surface pendant les périodes de sécheresse. En conséquence le caractère holistique de la restauration des zones humides, y compris la réintroduction d'animaux, est important. En général, une zone humide se crée par l'excavation de hautes terres jusqu'à des hauteurs qui favorisent la croissance d'espèces vivant dans les zones humides par la création d'une hydrologie appropriée. Les zones humides peuvent être installées ou restaurées par ce moyen ou à travers d'autres approches telles que le retrait des drains souterrains, l'installation de digues ou l'obturation des rigoles ouvertes.</p>              |
| Meilleures pratiques de gestion en matière d'agriculture | <p>Les meilleures pratiques de gestion en matière d'agriculture renvoient aux changements dans la gestion des terres agricoles qui peuvent être envisagés en vue d'obtenir divers résultats positifs en ce qui concerne la protection de l'environnement.</p> <p>Il existe une grande diversité de meilleures pratiques agricoles, notamment des pratiques telles que les cultures de couverture, le travail de conservation du sol, l'application d'engrais de précision, l'efficacité de l'irrigation, la culture en suivant les courbes de niveaux, et l'agroforesterie. Dans le contexte des fonds liés à l'eau, les meilleures pratiques de gestion en matière d'agriculture en référence à la modification des pratiques de gestion des terres cultivables, en particulier celles qui sont axées sur la réduction de l'érosion et le ruissellement de nutriments. Ces pratiques peuvent aider à protéger les approvisionnements en eau potable ainsi que les autres utilisations de l'eau telles que le loisir, l'habitat animal, les pêches et les usages agricoles tels que l'irrigation et l'abreuvement du bétail.</p>  | Gestion des routes                         | <p>La gestion des routes implique le déploiement d'un éventail de techniques d'évitement et d'atténuation qui visent à réduire les impacts environnementaux des routes, notamment les impacts liés aux effets négatifs sur les sols, sur l'eau, les espèces et les habitats.</p> <p>Les effets environnementaux des routes comprennent les sols déplacés ou compactés; les conditions altérées qui changent le pH du sol, la croissance des plantes et la structure des communautés végétales; les reliefs géomorphologiques reconfigurés qui peuvent entraîner un changement des régimes hydrologiques; et/ou l'augmentation du nombre et de la portée des glissements de terrain et des écoulements des débris, susceptibles d'affecter les systèmes terrestres et aquatiques. Les techniques d'atténuation en matière de gestion des routes peuvent comprendre des actions au niveau du site visant à réduire l'érosion et à améliorer les points de traversée des cours d'eau, ou la mise en œuvre de la gestion des voies d'accès et la fermeture et la mise hors service de routes.</p>  |


Source : Adapté d'Abell et al. (2017, tableau 2.4, p. 39).

Les mesures de protection des eaux de source fondées sur la nature sont souvent moins coûteuses que la gestion des impacts en aval (par exemple, le traitement de l'eau au point d'utilisation, voir chapitre 6). Une qualité supérieure d'eau de source correspond à des économies réalisées dans les coûts de traitement de l'eau (Gartner et al., 2013) et éventuellement des coûts d'investissement destinés à agrandir ou à construire de nouvelles installations de traitement évités (TEEB, 2009).

### 3.2.2 Réduction des impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau

L'agriculture influe sur la qualité de l'eau par deux voies : la pollution ponctuelle et non ponctuelle (diffuse). La pollution de source ponctuelle, telle que les impacts des eaux usées non traitées (ou insuffisamment traitées) provenant des élevages intensifs ou des installations de transformation des aliments, relève davantage du domaine des opérations industrielles. Elle est traitée dans la section 3.2.4.

La pollution diffuse causée par l'agriculture reste de loin le problème majeur dans le monde entier, y compris dans les pays développés (voir chapitre 1). Cependant, elle reste également la plus favorable aux SfN. La pollution issue de cette source a cours principalement en raison de deux causes interdépendantes (FAO, 2011b). Premièrement, l'application excessive de produits agrochimiques qui s'infiltrent par la suite dans les eaux souterraines ou le ruissellement des eaux de surface. Cette application est souvent favorisée par des subventions perverses. Deuxièmement, les techniques « modernes » d'agriculture mécanique, et en particulier l'enlèvement de la végétation et l'intensification des labours, qui dégradent l'écosystème de la couche de terre/végétation et diminuent sa capacité à fournir plusieurs services écosystémiques importants pour le maintien de la qualité de l'eau. Par exemple, la réduction du cycle des éléments nutritifs dans les sols entraîne une augmentation du lessivage et du ruissellement des engrais et une réduction de l'efficacité de l'utilisation des engrais. Cet appauvrissement des sols favorise en retour l'application accrue d'engrais en guise de compensation. De même, la réduction des services de lutte contre les ravageurs et les maladies dans les paysages agricoles favorise l'application accrue des pesticides. Cette application intense détruit davantage l'écosystème à travers des impacts sur les organismes non ciblés, favorise une application accrue des pesticides. Le dénudement du sol aux éléments des systèmes agricoles, en particulier sur les pentes, augmente considérablement l'érosion et les impacts subséquents sur la qualité de l'eau (voir chapitre 1). Ces impacts perpétuent un cycle préjudiciable et coûteux qui va à l'encontre des intérêts des agriculteurs : ils n'en bénéficient pas, et en fait paient pour, la perte d'engrais et/ou de pesticides de leurs champs et ils reconnaissent l'importance de conserver les terres de leurs fermes pour leur propre subsistance. Le concept d'intensification écologique durable est désormais largement admis comme l'approche clé qui permet à l'agriculture d'accroître sa production tout en devenant plus durable (FAO, 2011b ; 2014b). Ce concept implique essentiellement le rétablissement des services écosystémiques dans les paysages afin de corroborer



Les mesures de protection des eaux de source fondées sur la nature sont souvent moins coûteuses que la gestion des impacts en aval

les augmentations de la productivité durable tout en apportant simultanément des impacts externes dans des limites de l'acceptable. Une meilleure qualité de l'eau sera l'un de ces avantages importants.

Cette approche a connu beaucoup de progrès au cours des dernières années, aidée par le fait que les agriculteurs et d'autres groupes d'acteurs, grâce à une meilleure productivité et durabilité des exploitations agricoles, peuvent en bénéficier mutuellement. Par exemple, « l'agriculture écologique », qui intègre des pratiques visant à minimiser la perturbation des sols afin d'assurer un degré de couverture permanente du sol et une rotation régulière des cultures, est une approche phare de l'intensification durable de la production dont l'adoption s'étend rapidement (voir chapitre 2, encadré 2.3). L'approche est multifonctionnelle, mais l'un de ses avantages majeurs réside dans l'amélioration de la qualité de l'eau grâce à un meilleur cycle des nutriments, et par conséquent une baisse de l'utilisation des engrais et de l'érosion des sols. Une gamme d'autres interventions de gestion basées sur la nature est largement utilisée pour diminuer les impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau, tels que :

**Les herbiers riverains et les zones tampons boisées** le long des fleuves et aux abords des lacs constituent une approche courante et moins onéreuse pour réduire le ruissellement des nutriments et des sédiments des terres agricoles vers les écosystèmes aquatiques. Ces zones végétalisées ont des systèmes racinaires bien développés, des couches organiques de surface et une végétation de sous-bois qui servent de filtres physiques et biologiques aux eaux de ruissellement et aux sédiments qui peuvent être chargés de nutriments et d'autres produits agrochimiques.

**Les bordures de champs et les bandes tampons**, qui sont des bandes végétalisées le long des champs agricoles, peuvent jouer un rôle dans la réduction de la pollution des eaux provenant des terres agricoles (voir encadré 3.2) par l'immobilisation du transport des sédiments et des nutriments dans les eaux de ruissellement et par l'augmentation de l'infiltration afin de minimiser le volume des ruissellements potentiellement transportés vers les cours d'eau.

## AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU À L'AIDE DE BANDES TAMPONS SUR LES TERRES AGRICOLES EUROPÉENNES

Les exigences d'écoconditionnalité de la politique agricole commune de l'Union européenne (UE)

exigent depuis 2005 que tous les agriculteurs recevant des paiements directs se conforment aux normes sur les bonnes conditions agricoles et environnementales des terres en créant des bandes tampons le long des cours d'eau. En 2015, environ 90 % des terres agricoles européennes (soit 1,56 million de km<sup>2</sup>) étaient conformes aux normes (CE, 2017a). Cependant, aucune analyse systématique de l'impact des bandes tampons des fermes européennes sur la qualité de l'eau n'a été réalisée. Les charges en nutriments vers les fleuves européens ont diminué en raison d'un ensemble de mesures de réduction des nutriments requises par la directive sur les nitrates de l'UE et d'autres mesures politiques, et il est difficile d'isoler la contribution des tampons riverains.

*Contribution de Michael McClain (IHE Delft).*

**Les voies fluviales couvertes de végétaux** (bandes tampons humides et autres types de zones humides) sont des canaux de drainage qui restent sous la couverture végétale où les ruissellements canalisés à partir des champs sont filtrés des sédiments, nutriments et autres produits agrochimiques par contact physique avec la végétation et l'effet filtrant du sous-sol et du sol sous-jacent dans le canal.

Dans la plupart des cas, l'efficacité de ces interventions est fonction du type de végétation et autres facteurs tels que la vitesse de ruissellement et les taux d'infiltration, ainsi que le maintien de l'érosion ou de l'engorgement par les sédiments, dans le du drainage des canaux.

**Les bassins de sédimentation et de contrôle du débit** (en général sur des pentes de terres plus escarpées) sont conçus pour détourner les eaux de ruissellement et pour retenir temporairement l'eau et la rejeter par une canalisation ou par infiltration. Ils aident à réduire les écoulements érosifs sur terre qui peuvent entraîner des sédiments et des nutriments, donnant ainsi lieu à une plus importante infiltration. Les bassins de retenue secs sont un type de bassins couramment utilisés, ce sont des dépressions gazonnées ou des bassins créés par excavation dans lesquels le ruissellement est canalisé. Ils facilitent la filtration lente des sédiments et l'absorption des nutriments par la végétation. Les structures de biorétention sont un autre type de bassin. Ce sont en général des fosses remplies de terre, de paillis et de plantes, utilisées pour retenir les eaux de ruissellement pour infiltration à travers les

composants du lit filtrant, avec appui sur les réactions biologiques et biochimiques dans la matrice du sol et autour des zones des racines des plantes.

**Les zones humides** dans les paysages agricoles sont efficaces dans la réduction des charges en nutriments et en sédiments suspendus des zones agricoles vers les eaux réceptrices en aval, en fournissant des mosaïques d'habitats et en offrant divers services écosystémiques et des avantages pour le fonctionnement du paysage. Un examen des zones humides des exploitations agricoles au Royaume-Uni et en Irlande (Newman et al., 2015) a montré que tous les types de systèmes agricoles de zones humides, à l'exception des nitrates dans les systèmes de zones humides intégrées (étangs ouverts), offrent des niveaux élevés d'élimination de nombreux polluants, y compris l'azote total, l'ammonium, l'ammoniac, les nitrates et les nitrites, le phosphore réactif total et soluble, la demande en oxygène chimique, la demande en oxygène biologique et les solides en suspension. Cependant, les zones humides agricoles ont besoin d'une planification et d'une maintenance méticuleuses afin d'assurer leur fonction de conception optimale sur une longue durée de temps.

**L'écohydrologie** (voir chapitre 1, encadré 1.1) est une approche qui intègre la prise en compte de l'interaction eau-biote de l'échelle moléculaire à celle des captages. Elle s'appuie sur un nombre des approches susmentionnées entre autres pour améliorer les moyens par lesquels l'eau est gérée dans les paysages. Elle est particulièrement pertinente pour réduire la pollution causée par l'agriculture (UNESCO, 2016).

Lorsque la terre est retirée de la production agricole, certaines de ces interventions réduisent la superficie cultivée. Toutefois, ce retrait ne nécessite pas de réduire la production globale, car des améliorations à l'échelle du système peuvent s'ensuivre. Par exemple, la diversification des paysages dans des systèmes simplifiés de monoculture hautement intensive permet non seulement d'obtenir des résultats de qualité de l'eau améliorée, mais augmente simultanément la production agricole dans les zones restantes pour compenser la perte de superficie des cultures (Liebman et Schulte, 2015). Les systèmes agricoles qui conservent les services écosystémiques grâce aux pratiques telles que le labour écologique, la diversification des cultures, l'intensification des légumineuses et la lutte biologique contre les ravageurs se sont avérés performants aussi bien que les systèmes intensifs à haut niveau d'intrants (Badgley et al., 2007 ; Power, 2010).

### 3.2.3 Une meilleure qualité de l'eau dans les établissements humains

L'intérêt va rapidement grandissant en ce qui concerne l'intégration des infrastructures vertes dans la planification et la conception urbaines afin de gérer et de réduire la pollution due au ruissellement urbain (PNUE-DHI/UICN/TNC, 2014). Les exemples comprennent l'utilisation des murs végétalisés, des jardins en terrasse,

des arbres dans les rues et de l'infiltration végétalisée ou des bassins de drainage pour appuyer le traitement des eaux usées et réduire le ruissellement des eaux pluviales. Les zones humides et autres fonctions de drainage durables sont également très utilisées dans les environnements urbains pour atténuer l'impact du ruissellement des eaux pluviales polluées et des eaux usées (Scholz, 2006 ; Woods Ballard et al., 2007). Cependant, il est possible que la qualité de l'eau dans les cours d'eau ne s'améliore de manière significative si les éléments ne sont pas mis ensemble grâce à une approche globale de gestion de l'eau dans les milieux urbains (Lloyd et al., 2002, Gurnell et al., 2007).

Ces approches procurent d'autres avantages partagés par une meilleure qualité de vie des habitants (Cohen-Shacham et al., 2016). Les approches basées sur l'écohydrologie telles que la planification et la gestion intégrées des espaces verts et des voies navigables dans les zones urbaines, connues sous le nom de réseaux « Bleu-Vert » (Université de Łódź/Ville de Łódź, 2011) peuvent améliorer la qualité de l'eau dans les zones urbaines. Par exemple, le développement d'un système de sédimentation/biofiltration séquentielle pour la purification des eaux pluviales urbaines permet d'améliorer la rétention de l'eau dans les zones urbaines pour s'adapter aux changements climatiques, tout en améliorant la santé et la qualité de vie des habitants de la ville (Zalewski, 2014).

Les zones humides aménagées qui imitent les fonctions des zones humides naturelles figurent parmi les SfN plus couramment utilisées pour le traitement des eaux usées domestiques. Elles utilisent la végétation des zones humides, les sols et leurs fonctions microbiennes associées pour éliminer l'excès d'azote, de phosphore, de potassium et de polluants organiques. Les zones humides naturelles et les zones humides aménagées toutes deux permettent aussi de biodégrader ou d'immobiliser toute une gamme de polluants émergents. Sur les 118 produits pharmaceutiques contrôlés dans les influents et effluents conventionnels de traitement des eaux usées, près de la moitié était seulement partiellement éliminée, présentant une efficacité inférieure à 50 % (UNESCO/HELCOM, 2017). Des études démontrent que les zones humides aménagées constituent une solution de rechange pour l'élimination des polluants émergents des eaux usées domestiques et complètent ainsi de manière efficace les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées. L'efficacité des zones humides aménagées d'éliminer divers produits pharmaceutiques a été démontrée en Ukraine (Vystavna et al., 2017 ; UNESCO, à paraître) (voir encadré 3.3), ainsi que par d'autres études à l'échelle pilote (Matamoros et al., 2009 ; Zhang et al., 2011) et à grande échelle (Vymazal et al., 2017 ; Vystavna et al., 2017). Ces résultats suggèrent que, pour certains de ces polluants émergents, les SfN fonctionnent mieux que les solutions grises et, dans certains cas, se présentent comme solution unique.

Les SfN peuvent également améliorer la qualité de l'eau récupérée grâce à la recharge des aquifères aménagés



L'intérêt va rapidement grandissant en ce qui concerne l'intégration des infrastructures vertes dans la planification et la conception urbaines afin de gérer et de réduire la pollution due au ruissellement urbain

(MAR) (voir section 4.2.3), où la qualité des eaux usées partiellement traitées est améliorée par les processus biophysiques à mesure qu'elles s'infiltrent dans les sols et les sédiments (voir encadré 3.4).

### 3.2.4 Réduction des impacts de l'industrie sur la qualité de l'eau

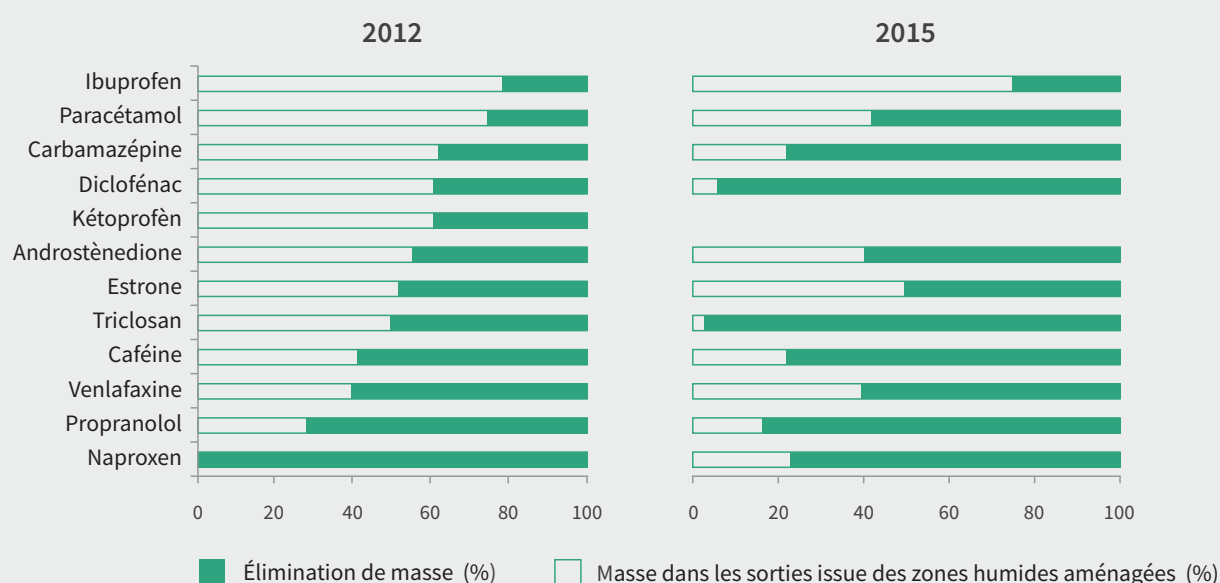
Les opportunités de SfN favorables au traitement des eaux usées industrielles sont fonction du type de polluant et de son chargement. Pour de nombreuses sources d'eau polluées, les solutions fondées sur les infrastructures grises continueront d'être nécessaires. Néanmoins, les applications industrielles des SfN, en particulier les zones humides aménagées destinées au traitement des eaux usées industrielles, connaissent une hausse. Une étude de 138 applications dans 33 pays a clairement montré que les zones humides aménagées ont été utilisées pour de nombreux types d'effluents industriels (Vymazal, 2014). Au cours des deux dernières décennies, des applications des zones humides aménagées pour le traitement des eaux usées ont été mises à l'épreuve sur des effluents industriels comme les produits pétrochimiques, les produits laitiers, la transformation de la viande, les abattoirs et les effluents des usines de pâtes et papiers. Des applications dans les eaux usées des brasseries, des tanneries et des huileries d'olive ont été récemment ajoutées (Vymazal, 2014 ; De la Varga et al., 2017).

Les zones humides aménagées occupent une place dans le traitement des eaux usées des laiteries, comme étant particulièrement adaptées au traitement des eaux usées de petit salon laitier, des eaux usées issues de la production de fromage et autres eaux usées de l'industrie alimentaire, ainsi que pour le traitement des eaux usées des établissements vinicoles (De la Varga et al., 2017). Les SfN consacrées à la gestion des eaux usées industrielles offrent souvent une situation « gagnant-gagnant » pour l'industrie et les parties prenantes, grâce à la création d'un certain nombre d'avantages socioéconomiques partagés (voir section 3.4).

## ENLÈVEMENT DE PRODUITS PHARMACEUTIQUES DANS UNE ZONE HUMIDE AMÉNAGÉE EN UKRAINE

Une étude sur l'élimination de produits pharmaceutiques dans une zone humide aménagée à l'échelle pilote en Ukraine, dans le cadre de l'initiative internationale de l'UNESCO sur l'étude de cas de la qualité de l'eau portant sur les polluants émergents dans l'eau et les eaux usées de l'est de l'Ukraine : Occurrence, foie et régulation, indiquent le potentiel élevé des zones humides aménagées visant à éliminer les produits pharmaceutiques des eaux usées avec des taux d'élimination des différents produits pharmaceutiques allant de 5 % à 90 % (figure ci-dessous). L'étude a en outre étudié la relation entre les taux d'élimination des polluants et les conditions d'exploitation de la zone humide, en comparant les mesures au début de l'exploitation des zones humides en 2012 et trois ans plus tard en 2015, après modification de ses paramètres opérationnels (l'augmentation de la durée de résistance de l'eau, la croissance de la couverture de macrophytes et l'installation du système d'aération). Après la modification des paramètres opérationnels, l'efficacité de l'élimination de la plupart des produits pharmaceutiques s'est améliorée (voir figure ci-dessous).

Figure | Taux d'élimination de différents produits pharmaceutiques dans une zone humide aménagée à l'échelle pilote dans différentes conditions de fonctionnement en 2012 et en 2015



Source : Sur la base des données de l'UNESCO (à paraître).

La zone humide aménagée était encore plus efficace pour éliminer les composés difficiles tels que la carbamazépine et le diclofénac – des produits pharmaceutiques qui sont parmi ceux détectés en concentrations les plus élevées dans les eaux usées traitées. Étant donné qu'une efficacité d'élimination aussi élevée peut aussi être attribuée à différents paramètres de gestion de la zone humide, d'autres études sont nécessaires pour établir les relations entre la maturation des zones humides aménagées et le taux d'élimination des polluants.

Sources : Vystavna et al. (2017); UNESCO (à paraître).

Contribution de Yuliya Vystavna (Académie des Sciences tchèque), Yuriy Vergeles (Université nationale de l'Économie urbaine d'Ukraine) et Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI).

### 3.3 Le contrôle de la qualité de l'eau fondé sur la nature – la biosurveillance

Bien qu'il ne s'agisse pas strictement d'une SfN telle que définie dans le présent rapport (voir chapitre 1), la biosurveillance est un outil important et utile qui se sert des organismes aquatiques (invertébrés, algues et

poissons) et des changements de comportement résultant de pressions externes telles qu'un changement dans la qualité de l'eau, pour veiller sur la qualité de l'eau, contribuant ainsi à l'atteinte des objectifs de gestion de la qualité de l'eau. La biosurveillance fournit des solutions relativement peu coûteuses pour le contrôle de la qualité de l'eau qui permettent de combler les lacunes relatives aux informations et aux données sur la qualité de l'eau. La biosurveillance utilisant les indicateurs d'espèces sensibles à un large éventail de facteurs de stress tels que

## AMÉLIORER L'APPROVISIONNEMENT EN EAU SOUTERRAINE ET LA QUALITÉ DE L'EAU À L'AIDE DES SOLS POUR LE TRAITEMENT TERTIAIRE DES EAUX USÉES EN ISRAËL

L'effluent secondaire traité de la station d'épuration des eaux usées de Shafdan est infiltré dans la plaine côtière sablonneuse d'Israël où sa qualité s'améliore davantage au fur et à mesure qu'il s'infiltré dans l'aquifère pour une récupération ultérieure. Par an, environ 110 à 130 millions de m<sup>3</sup> d'effluent sont détournés vers cinq bassins d'infiltration (chacun ayant une dizaine de sous-bassins) qui sont inondés par cycles de 3 à 5 jours, avec une période de séchage d'un jour. L'effluent est ensuite récupéré à partir de deux anneaux de puits de production qui entourent les bassins d'infiltration. Grâce au traitement à base des sols des aquifères, la qualité de l'eau est considérablement améliorée et utilisée pour une irrigation sans restriction, d'où l'augmentation de la disponibilité de l'eau dans les régions arides d'Israël.

Source : Goren (2009).

Contribution de Catalin Stefan (Université de Technologie de Dresden, via GRIPP : [gripp.iwmi.org/](http://gripp.iwmi.org/)).

les polluants peut être très efficace pour soutenir la gestion locale de l'eau. Au fil des ans, les outils de biocontrôle ont été inclus dans les pratiques de gestion des ressources en eau, non seulement pour le contrôle de la qualité de l'eau, mais aussi comme indicateurs de l'état de santé générale de l'écosystème aquatique. Le biosurveillance est également intégré dans les techniques modernes de contrôle de la qualité de l'eau (voir encadré 3.5).

Étant une mesure directe de l'état de santé de l'écosystème, le biocontrôle est très intuitif pour le grand public et peut ainsi jouer un rôle dans la sensibilisation au sein des communautés (Aceves-Bueno et al., 2015). En Afrique du Sud, par exemple, le « mini-SASS »<sup>10</sup> est utilisé pour le contrôle et la gestion de la qualité de l'eau au niveau communautaire, par le soutien apporté à la gestion participative des ressources en eau (Graham et al., 2004). Il constitue également un outil de contrôle citoyen qui, avec les connaissances traditionnelles, attire de plus en plus l'attention dans la gestion de l'eau, surtout comme les avancées dans les technologies d'envoi, de traitement de données et de visualisation se sont améliorées (Lansing, 1987 ; Minkman et al., 2017 ; Buytaert et al., 2014).

L'Afrique du Sud est un exemple de lieu où le biocontrôle a été largement utilisé. Basé principalement sur la surveillance des invertébrés à l'aide de l'indice SASS (Dickens et Graham, 2002), des indicateurs biologiques supplémentaires ont été élaborés à partir du poisson, de la végétation riveraine et des diatomées, qui ont été intégrés au Programme de surveillance de l'éco-statut des fleuves d'Afrique du Sud, qui implique deux départements gouvernementaux, une agence de recherche et un certain nombre d'organisations de la société civile, fournissant ainsi un exemple de gestion participative des ressources en eau (DWA, s.d.). Des indicateurs biologiques sont en outre utilisés en Afrique du Sud pour le contrôle de l'état de salubrité des cours d'eau ; faire le rapport sur

## L'UTILISATION DE *DAPHNIES* ET D'*ALGUES* POUR CONTRÔLER LA TOXICITÉ DE L'EAU ET LA DÉTECTION PRÉCOCE DES POUSSÉES DE POLLUTION – STATION DE QUALITÉ DE L'EAU DU RHIN À WORMS, EN ALLEMAGNE

Les organismes aquatiques sont utilisés pour veiller sur l'état de santé général et la qualité de l'eau du Rhin, à la fois dans l'eau de la rivière (in situ) que dans des analyses de laboratoire (ex situ) dans la station de surveillance de la qualité du Rhin, en Allemagne. La *daphnie*, un crustacé d'eau douce, est utilisée comme « alarme » dans le cadre du contrôle de la toxicité de l'eau du fait de ses réactions toxicologiques vis-à-vis des polluants de l'eau. Étant donné que les réactions toxicologiques de la *daphnie* vis-à-vis d'un polluant particulier, ou d'une charge de pollution élevée, sont relativement rapides, elles facilitent une détection précoce des incidents de pollution inhabituels. La détection précoce de cette pollution de l'eau est importante pour la prise de mesures immédiates nécessaires à la protection des ressources en eau potable et des écosystèmes contre les charges toxiques ou à forte pollution. La station de contrôle de la qualité de l'eau du Rhin se sert également des *algues* comme biotest pour une surveillance en ligne (30 minutes d'intervalle) des substances toxiques telles que les herbicides.

Contribution de Sarantuyaa Zandaryaa (PHI - UNESCO)\*.

\* Communication personnelle avec l'équipe de la station de surveillance de la qualité du Rhin. Pour plus amples informations, veuillez consulter : [www.rheinguetestation.de/](http://www.rheinguetestation.de/)

<sup>10</sup> Mini-stream assessment scoring system. Pour de plus amples informations, veuillez consulter [www.minisass.org](http://www.minisass.org).



Les limites techniques des SfN résident dans leur capacité limitée à éliminer certains polluants, en particulier dans les applications industrielles et minières où les effluents ont des concentrations élevées

l'état de l'environnement ; en tant qu'apport pour la détermination des débits environnementaux ou des besoins en eau ; pour la classification des ressources en eau en catégorie de gestion ; et pour établir des objectifs de qualité des ressources en eau qui sont juridiquement contraignantes pour tous les ministères. Des mesures biologiques sur la salubrité des écosystèmes ont également été incluses dans la Cible 6.6 des ODD sur les écosystèmes liés à l'eau.

## 3.4 Avantages partagés et limites des SfN pour la qualité de l'eau

### 3.4.1 Avantages environnementaux et socioéconomiques connexes

L'intégration des SfN dans la gestion de la qualité de l'eau fournit non seulement des solutions moins onéreuses et prometteuses, mais également des avantages environnementaux et socioéconomiques supplémentaires découlant des mêmes investissements.

**Les avantages connexes environnementaux** des SfN pour la qualité de l'eau comprennent la protection et l'amélioration de la biodiversité et la réduction ou l'inversion de la tendance à la perte et la dégradation des écosystèmes terrestres et aquatiques et de leurs services (disponibilité accrue de l'eau et des services écosystémiques). Une meilleure qualité de l'eau offre des avantages environnementaux qui s'étendent aux zones côtières en aval, qui subissent l'eutrophisation liée à l'excès d'éléments nutritifs présents dans les bassins hydrographiques situés en amont et souvent au-delà en soutenant la salubrité améliorée des océans. Les SfN au service de la qualité de l'eau offrent également des fonctions et des services supplémentaires, y compris l'amélioration de l'habitat, l'absorption du carbone, la stabilisation des sols, la recharge des eaux souterraines et l'atténuation des inondations (Haddaway et al., 2016).

**Les avantages socioéconomiques** d'une meilleure qualité de l'eau sont en rapport avec la réduction des risques de santé publique et le renforcement du développement économique ou à des moyens de subsistance durables – en particulier pour les zones rurales et les communautés – contribuant ainsi à réduire les inégalités sociales qui touchent les femmes, les groupes défavorisés, les pauvres et les personnes vivant dans des bidonvilles/établissements informels. En général, les personnes les plus pauvres ont le plus à gagner des SfN pour améliorer la qualité de l'eau, en particulier lorsqu'elles n'ont pas accès à des sources d'eau potable et sont exposées à l'insécurité alimentaire. Cependant, la mise en œuvre des SfN pour la gestion de la qualité de l'eau génère des avantages partagés supplémentaires qui ne proviendraient pas nécessairement des seules solutions grises. Un exemple c'est la création des emplois, y compris les emplois directement liés à la mise en œuvre des SfN elles-mêmes.

### 3.4.2 Limites des SfN pour la qualité de l'eau

Les SfN offrent des applications prometteuses en guise de solutions de rechange ou d'interventions complémentaires dans la gestion de la qualité de l'eau. Jusque-là, il existe encore des défis à relever et des limites, qui peuvent entraver leur utilisation répandue dans certaines applications. Les limites techniques des SfN résident dans leur capacité réduite à éliminer certains polluants, en particulier dans les applications industrielles et minières où les effluents ont des concentrations élevées. Bien qu'il existe des preuves, par exemple, que les zones humides éliminent 20 % à 60 % des métaux dans l'eau et piègent 80 % à 90 % des sédiments provenant des ruissellements, peu d'informations existent sur la capacité de nombreuses plantes des zones humides à éliminer certaines substances toxiques associées aux pesticides, aux rejets industriels et aux activités minières, même si certaines plantes des zones humides sont capables de stocker les métaux lourds dans leurs tissus à des concentrations 100 000 fois supérieures à celles trouvées dans les eaux environnantes (Skov, 2015). Par conséquent, il est nécessaire de reconnaître la capacité de charge limitée des écosystèmes et de déterminer les seuils auxquels l'ajout de contaminants et de substances toxiques entraînerait des dommages irréversibles.

Une autre limite peut être un temps de rétention plus long requis pour éliminer certains polluants. Les recherches montrent que le passage relativement lent de l'eau à travers les zones humides peut donner suffisamment de temps aux agents pathogènes de perdre leur viabilité ou être consommés par d'autres organismes dans l'écosystème. Cependant, il existe aussi la probabilité de l'accumulation des substances toxiques dans les zones humides. En effet, la transformation des zones humides en potentiels « points chauds » où il existe des niveaux élevés de contamination peut se révéler préjudiciable au fonctionnement et à la salubrité des écosystèmes des zones humides (Skov, 2015). En conséquence, les approches hybrides, où les SfN complètent les technologies conventionnelles de traitement de l'eau, peuvent constituer des solutions appropriées, surtout

pour réduire la charge en nutriments lourds. Étant donné que les SfN peuvent nécessiter de plus longues durées de rétention, elles doivent être équilibrées avec le taux de traitement conventionnel, en impliquant peut-être de plus vastes zones d'écosystèmes, ainsi que des exigences corporatives et réglementaires (voir chapitre 6).

Les SfN peuvent soutenir la fourniture de services d'eau de manière complémentaire et intégrée avec les infrastructures hydrauliques conventionnelles (PNUE-DHI/IUCN/TNC, 2014). Par conséquent, il est important que les SfN, à la fois pour la qualité de l'eau que pour d'autres objectifs de gestion de l'eau, soient prises en compte conjointement avec d'autres options, en fonction des approches standardisées pour les éventuels coûts et avantages. Ceci doit inclure une réelle prise en compte de la vaste gamme d'avantages environnementaux et socioéconomiques partagés (y compris la capacité accrue de s'adapter à un climat changeant) que les SfN apportent en plus des avantages primaires liés à la qualité de l'eau. La combinaison des SfN et des infrastructures grises dans les plans de gestion de l'eau améliore également la durabilité des infrastructures grises de l'eau.

La participation de la communauté et l'implication plus élargie des parties prenantes sont importantes dans la mise en œuvre des SfN, surtout l'implication des personnes dont les moyens de subsistance dépendent des biens et services fournis par les paysages. Étant donné que les SfN pour la qualité de l'eau et leurs applications spécifiques dépendent de nombreux facteurs, il existe un défi lié à l'absence de preuves historiques bien établies des impacts positifs des SfN, permettant des comparaisons avec d'autres solutions. Ce manque de preuves peut augmenter le risque perçu ou le niveau d'incertitude de ces projets, par rapport aux performances bien établies des technologies conventionnelles de traitement de l'eau (PNUE-DHI/IUCN/TNC, 2014). La nécessité de combler le vide de ce manque d'informations s'avère essentielle afin de permettre aux SfN de se positionner sur un pied d'égalité avec les solutions conventionnelles.

Ces limites relatives aux SfN dans les applications de gestion de la qualité de l'eau peuvent être résumées par :

- l'amélioration de la base de connaissances et l'encouragement de la recherche et l'innovation sur les SfN pour la gestion de la qualité de l'eau, y compris l'essai des SfN dans différentes conditions hydrologiques, environnementales, socioéconomiques et de gestion ;
- le renforcement des capacités en partageant et en vulgarisant les connaissances et en élaborant des programmes éducatifs axés sur les SfN en tant que partie intégrante de la gestion de la qualité de l'eau ;
- l'incorporation des SfN dans les politiques et les cadres juridiques et réglementaires sur la gestion de la qualité de l'eau, en encourageant l'investissement et la mise en œuvre des SfN ;

### ENCADRÉ 3.6

#### LES FONDS POUR L'EAU EN TANT QUE MOYEN DE MISE EN ŒUVRE DES SfN POUR LA PROTECTION DE LA SOURCE DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE

Les fonds destinés à l'eau sont des plateformes institutionnelles développées par les villes et les professionnels des questions environnementales, qui permettent de traiter les questions liées à la gouvernance en comblant les lacunes scientifiques, juridictionnelles, financières et de mise en œuvre. Les recherches au cours des 15 dernières années ont démontré leur capacité à permettre aux utilisateurs en aval à investir dans la protection de l'habitat en amont et dans la gestion des terres afin d'améliorer la qualité et la quantité de l'eau, avec des exemples de réussite comme dans le cas de Quito, San Antonio (au Texas) et plus récemment Nairobi (Abell et al., 2017). Le Fonds pour l'eau de Nairobi vise à démontrer comment les investissements dans les SfN dans les bassins hydrographiques de Upper Tana, qui couvre environ 1,7 million d'hectares et fournit 95 % de l'eau potable de Nairobi, génèrent un double retour sur investissement. Une analyse de rentabilisation montre qu'un investissement de 10 millions de dollars américains dans les activités des fonds destinés à l'eau, comme les tampons riverains, le reboisement et la mise en œuvre de pratiques agricoles améliorées, peut rapporter des retombées économiques estimées à 21,5 millions de dollars américains sur une période de 30 ans (TNC, 2015).

*Contribution de Elisabeth Mullin Bernhardt (ONU Environnement).*

- l'encouragement des investissements du secteur privé dans les SfN à l'aide d'exemples qui justifient le recours aux SfN pour la gestion de la qualité de l'eau (voir encadré 3.6, et voir également la section 5.2.2) ;
- la collaboration avec la société civile en vue de sensibiliser le public sur le potentiel des SfN en matière de gestion de la qualité de l'eau, le plaidoyer pour des changements de politique qui soutient les SfN et la promotion des SfN auprès des dirigeants politiques.

### 3.5 La possibilité pour les SfN de contribuer aux ODD liés à la qualité de l'eau

La gamme d'avantages et d'« avantages partagés » apportés par les SfN dans la gestion de la qualité de l'eau a un potentiel significatif pour contribuer à la réalisation des ODD, pour permettre aux sociétés de faire la transition vers la durabilité. Étant donné qu'une meilleure qualité de l'eau

**Tableau 3.2** Qualité de l'eau dans les ODD

| Objectif du développement durable (ODD)   | Cible |  |
|---|-------|--|
| <b>ODD 6</b><br>Eau et assainissement   | 6.1   | Assurer l'accès universel et équitable à l'eau potable, à un coût abordable  |
|   | 6.2   | Assurer l'accès de tous, dans des conditions équitables, à des services d'assainissement et d'hygiène adéquats et mettre fin à la défécation en plein air, en accordant une attention particulière aux besoins des femmes et des filles et des personnes en situation vulnérable   |
|   | 6.3   | Améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant nettement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau |
|   | 6.6   | Protéger et restaurer les écosystèmes liés à l'eau, notamment les montagnes, les forêts, les zones humides, les rivières, les aquifères et les lacs  |
| <b>ODD 1</b><br>Pauvreté  | 1.4   | Faire en sorte que tous les hommes et les femmes, en particulier les pauvres et les personnes vulnérables, aient les mêmes droits aux ressources économiques et qu'ils aient accès aux services de base, ...   |
| <b>ODD 2</b><br>... promouvoir l'agriculture durable  | 2.4   | ... assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes ... et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols  |
| <b>ODD 3</b><br>La santé  | 3.3   | Mettre fin à l'épidémie de sida, à la tuberculose, au paludisme et aux maladies tropicales négligées et combattre l'hépatite, les maladies transmises par l'eau et autres maladies transmissibles  |
|   | 3.9   | Réduire nettement le nombre de décès et de maladies dus à des substances chimiques dangereuses et à la pollution et à la contamination de l'air, de l'eau et du sol  |
| <b>ODD 7</b><br>Énergie propre  | 7.3   | Multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique   |
| <b>ODD 9</b><br>Bâtir une infrastructure résiliente...  | 9.4   | ... moderniser l'infrastructure et adapter les industries afin de les rendre durables, par une utilisation plus rationnelle des ressources et un recours accru aux technologies et procédés industriels propres  |
| <b>ODD 11</b><br>Villes durables  | 11.3  | renforcer l'urbanisation durable pour tous ...   |
|   | 11.6  | ... réduire l'impact environnemental négatif des villes par habitant ...   |
| <b>ODD 12</b><br>Modes de consommation et de production durables  | 12.4  | Parvenir à une gestion écologiquement rationnelle des produits chimiques et de tous les déchets tout au long de leur cycle de vie, conformément aux principes directeurs arrêtés à l'échelle internationale, et réduire nettement leur déversement dans l'air, l'eau et le sol, afin de minimiser leurs effets négatifs sur la santé et l'environnement      |
| <b>ODD 14</b><br>Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable | 14.1  | ... prévenir et réduire nettement la pollution marine de tous types, en particulier celle résultant des activités terrestres, y compris les déchets en mer et la pollution par les nutriments  |
| <b>ODD 15</b><br>Écosystèmes  | 15.1  | Garantir la préservation, la restauration et l'exploitation durable des écosystèmes terrestres et des écosystèmes d'eau douce et des services connexes, en particulier des forêts, des zones humides, des montagnes et des zones arides, conformément aux obligations découlant des accords internationaux   |

Source : Adapté et mis à jour par UNESCO (2015a, p. 7).

améliore également sa disponibilité (pour des utilisations multiples) et, dans certains cas, réduit les risques liés à l'eau, il existe de nombreux liens potentiels entre la plupart des ODD et leurs cibles.

Le tableau 3.2 donne un aperçu des liens les plus directs et les plus évidents entre l'amélioration de la qualité de l'eau et les objectifs de développement durable pour lesquels les SfN sont particulièrement prometteuses.

**ODD 6 « Assurer la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous » :** Les SfN pour la gestion de la qualité de l'eau tiennent en compte l'atteinte de toutes les cibles de l'ODD 6. Une large gamme de SfN telles que la protection des bassins hydrographiques visant à améliorer la qualité de l'eau dans les bassins hydrographiques sources et les zones humides aménagés pour la réduction des nutriments et autres pollutions provenant de différentes sources, sont essentielles pour atteindre la Cible 6.3. Les SfN peuvent permettre d'atteindre les ODD 6.1 et 6.2 en réduisant les risques pour la santé humaine liés à l'eau de consommation insalubre et à l'assainissement à travers, par exemple, la protection des sources d'eau et des solutions alternatives à l'assainissement, telles que l'assainissement écologique. Toutes les SfN consacrées à la gestion de la qualité de l'eau sont des moyens visant à atteindre la Cible 6.6 dans le contexte de l'ODD 6.

Les SfN sont particulièrement importantes dans le cadre de l'amélioration des impacts des systèmes agricoles sur la qualité de l'eau et sont donc essentielles pour atteindre l'ODD 2 (entre autres, promouvoir une agriculture durable), car la réduction des impacts sur la qualité de l'eau est un déterminant clé de la durabilité en agriculture, surtout en ce qui concerne la Cible 2.4. Les avantages sur le plan de la santé (ODD 3) de la contribution des SfN pour l'amélioration de la qualité de l'eau vont de soi. De la même manière, cette approche des SfN pour la réduction de la pollution tellurique ainsi que d'autres approches contribuent grandement à la conservation et à l'utilisation durable des océans, des mers et des ressources marines (ODD 14), notamment en réduisant les apports en nutriments (Cible 14.1). Les infrastructures vertes (SfN) font partie intégrante de la construction des infrastructures résilientes (ODD 9). Dans le même ordre d'idées, les infrastructures vertes constituent un élément essentiel de la construction de villes sûres, résilientes et durables (ODD 11).

Les avantages partagés d'ordre environnemental des SfN pour améliorer la qualité de l'eau sont particulièrement pertinents, car ils contribuent à supporter la biodiversité et les écosystèmes en général (ODD 15, en plus de l'ODD 14 mentionné ci-dessus). Les écosystèmes terrestres et aquatiques sont intimement liés. En particulier, les SfN qui utilisent les fonctions et services écosystémiques à travers la protection des bassins hydrographiques, les zones humides naturelles ou artificielles, le reboisement et les terres tampons sont un soutien direct pour les Cibles 15.1,

15.2 et 15.4. Les SfN pour la qualité de l'eau, telles que les bandes tampons et les zones végétatives riveraines, permettent d'atteindre les Cibles 15.3 et 15.5 sur la lutte contre la désertification et la dégradation des terres, la réduction de la perte de l'habitat et de la biodiversité. La mise en œuvre des SfN au service de la qualité de l'eau permet également d'atteindre la Cible 15.9 : *intégrer les valeurs écosystémiques et de la biodiversité dans les stratégies de développement.*

Des liens supplémentaires peuvent être établis avec l'ODD 7 (énergie propre). Étant donné que la plupart des SfN nécessitent très peu (voire pas du tout) d'énergie externe, elles peuvent réduire la demande en énergie des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées. Les SfN qui améliorent l'efficacité de l'utilisation des nutriments et des produits chimiques dans l'agriculture sont particulièrement pertinentes pour l'ODD 12 (Mode de consommation et production responsable). De même, les SfN qui permettent de gérer les ruissellements urbains (métaux lourds et produits chimiques) jouent un rôle particulier dans la Cible 12.4 (diminuer le déversement des produits chimiques dangereux dans l'eau et dans la terre). Les avantages sur les plans environnemental et socioéconomique résultant des SfN pour la gestion de la qualité de l'eau soutiennent également l'ODD 1 (lutter contre la pauvreté) et d'autres aspects de l'ODD 2, par exemple en améliorant les moyens de subsistance, surtout dans les zones rurales.

# 4

## LES SfN POUR LA GESTION DES RISQUES, DE LA VARIABILITÉ ET DES CHANGEMENTS LIÉS À L'EAU



UNU-INWEH | Vladimir Smakhtin ; Nidhi Nagabhatla, Manzoor Qadir et Lisa Guppy

Avec les contributions de<sup>11</sup> : Peter Burek (IIAAS) ; Karen Villholth, Matthew McCartney et Paul Pavelic (IWMI) ; Daniel Tsegai (CNULCD) ; Tatiana Fedotova (WBCSD) ; Giacomo Teruggi (OMM)

L'inondation d'une station d'épuration des eaux usées à la suite à l'ouragan Harvey (États-Unis)

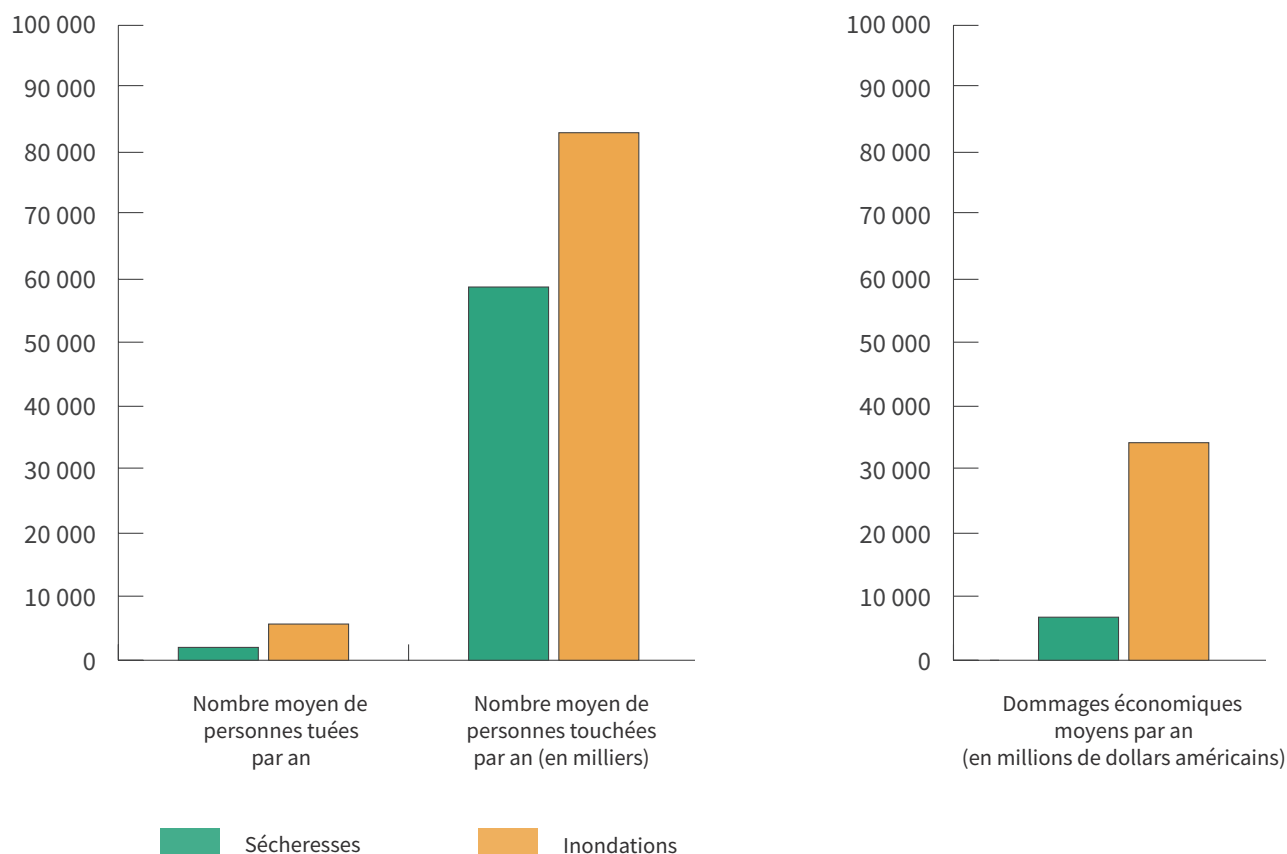


#### 4.1 Les SfN dans le contexte de la variabilité et des changements de l'eau, et des accords mondiaux sur le développement durable

La variabilité des ressources en eau a un impact considérable sur le développement (Hall et. al., 2014). On estime que 30 % de la population mondiale vivent dans des zones et des régions régulièrement touchées par des inondations et des sécheresses – les principales catastrophes liées à l'eau à travers lesquelles la variabilité de l'eau se manifeste. Selon la base de données internationale sur les catastrophes du Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED, s.d.), qui a analysé les données pour la période décennale 2006–2015, résumées dans le Rapport sur les catastrophes dans le monde (FICR, 2016), environ 140 millions de personnes sont touchées et près de 10 000 personnes meurent chaque année des suites de catastrophes liées à l'eau dans le monde (voir figure 4.1). Si les températures extrêmes s'ajoutent à la sécheresse, ou si les tempêtes s'ajoutent aux inondations, le nombre de victimes passe quasiment du simple au triple. Pour replacer cela dans son contexte, le nombre moyen annuel de décès liés aux inondations et aux sécheresses se situe dans la même fourchette que le nombre de décès annuels dus au terrorisme, tandis que le nombre de personnes touchées par les inondations et les sécheresses (déplacés, ayant perdu leurs moyens de subsistance ou leurs maisons, etc.) représente environ cinq fois le nombre de personnes vivant avec le VIH. Les pertes économiques mondiales moyennes dues aux inondations et aux sécheresses dépassent 40 milliards de dollars américains par an dans tous les secteurs économiques. Les tempêtes ajoutent en moyenne 46 milliards de dollars

<sup>11</sup> Les auteurs du chapitre souhaiteraient exprimer leur gratitude à Sarah Davidson (WWF-US) pour ses observations.

**Figure 4.1** Impact annuel moyen des sécheresses et des inondations dans le monde sur la base des données pour la période 2006-2015



Source : Sur la base des données du CRED (s.d.).

américains de pertes économiques supplémentaires par an. Le nombre de décès, de personnes touchées et de pertes économiques varie considérablement selon l'année et le continent, l'Afrique et l'Asie étant les continents les plus touchés par les trois indicateurs. Selon diverses estimations, ces chiffres devraient augmenter de 200 à 400 milliards de dollars américains d'ici 2030. De telles pertes affectent fortement la sécurité hydrique, alimentaire et énergétique et absorbent la majeure partie du flux actuel d'aide au développement (OCDE, 2015a).

Les changements climatiques modifient (et ont déjà modifié) le modèle du ruissellement global (Milly et al., 2005), certaines études suggérant une augmentation du ruissellement global d'environ 4 % par 1 degré centigrade d'augmentation des températures mondiales (Labat et al. 2004). Mais plus important encore, les changements climatiques augmentent la fréquence, l'intensité et la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes (O'Gorman, 2015), ce qui peut entraîner une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes extrêmes liés à l'eau (GIEC, 2012 ; Mazdiyasi et AghaKouchak, 2015). Bien que les incertitudes associées aux projections climatiques ne permettent pas encore, dans de nombreux cas, d'obtenir des affirmations quantitatives solides sur les impacts des changements climatiques sur l'eau en général, et sur la variabilité de l'eau en particulier, certaines preuves et projections historiques suggèrent que les risques d'inondation pourraient s'intensifier, en particulier dans certaines parties de l'Asie du Sud, du Sud-Est et du Nord-Est, ainsi qu'en Afrique tropicale et en Amérique du Sud – en raison des changements dans les régimes de précipitations affectant le cycle hydrologique. Hirabayashi et al. (2008) ont montré que la fréquence des inondations augmentera dans la plupart des régions, sauf en Amérique du Nord et du centre à l'Eurasie occidentale. La fréquence des sécheresses devrait également augmenter dans le monde, avec seulement les hautes latitudes septentrionales, l'est de l'Australie et



Les changements climatiques augmentent la fréquence, l'intensité et la gravité des phénomènes météorologiques extrêmes


l'est de l'Eurasie présentant une diminution, ou même ne présentant aucun changement significatif. Selon les prévisions, plusieurs régions connaîtront une augmentation de la fréquence des inondations et de la sécheresse.

La variabilité des ressources en eau n'est pas forcément due à la variabilité naturelle du climat ou aux changements climatiques anthropiques. Comme indiqué dans le prologue, la dégradation des écosystèmes, par exemple à travers le changement de l'utilisation des terres, la perte des terres humides et la dégradation des terres, constitue un facteur important de l'augmentation des risques liés à l'eau et souvent la principale cause de risques et de catastrophes. Cela implique que la restauration de l'écosystème devrait être la première réponse à la réduction de ces risques, grâce à l'application des SfN.

L'agriculture est probablement le secteur économique le plus touché par la variabilité croissante des ressources en eau à l'échelle mondiale, et certainement le plus vulnérable sur le plan socioéconomique en raison de la dépendance des communautés rurales dans les pays en développement. Elle absorbe en moyenne 84 % des impacts économiques négatifs de la sécheresse et 25 % de tous les dommages causés par les catastrophes liées au climat (FAO, 2015). Les scientifiques, les agriculteurs et même les milieux d'affaires considèrent la variabilité, qualifiée de « phénomène météorologique extrême », comme l'un des risques de production les plus probables au cours des 10 prochaines années (WEF, 2015). Les gains en termes de bien-être obtenus en atténuant seulement la variabilité hydrologique en général, en sécurisant l'eau dans les systèmes d'irrigation existant dans le monde, ont été évalués à 94 milliards de dollars américains pour 2010 (Sadoff et al., 2015).

Les dommages subis par diverses industries et infrastructures urbaines, en particulier suite à des inondations catastrophiques, sont tout aussi importants. Les 43 milliards de dollars de pertes économiques et les 16 milliards de dollars de pertes assurées dues à l'inondation de 2011 en Thaïlande avaient eu un impact considérable sur l'industrie de l'assurance et sur l'investissement direct étranger (Munich Re, 2013). Les incertitudes dans les estimations des dommages causés par les inondations peuvent toutefois être importantes (Wagenaar et al., 2016).

Parallèlement, la variabilité de l'eau (c'est-à-dire le régime d'écoulement saisonnier naturel et les inondations qui en découlent) offre des avantages socioécologiques importants, par exemple pour les pêches de capture et l'agriculture de décrue. Ces avantages dans les grands systèmes deltaïques, tels que le delta du Mékong, peuvent être supérieurs d'un ou deux ordres de grandeur aux coûts annuels des dommages causés par les inondations extrêmes (MRC, 2009). De même, c'est la variabilité saisonnière de la pluviométrie qui crée des opportunités pour le stockage de l'eau, en utilisant des infrastructures vertes ou grises, pour fournir de l'eau aux écosystèmes et aux populations au cours des périodes plus sèches. Par conséquent, la gestion de la variabilité ne consiste



La dégradation des écosystèmes, par exemple à travers le changement de l'utilisation des terres, la perte des terres humides et la dégradation des terres, constitue un facteur important de l'augmentation des risques liés à l'eau

pas à l'éliminer, mais plutôt à minimiser les dommages et à maximiser les opportunités qu'elle offre. Les SfN permettent de mieux gérer cette dichotomie. En outre, l'impact des changements climatiques se ressent principalement à travers l'écosystème et l'hydrologie. Par conséquent, la première réponse à la fois au changement progressif et à la variabilité des ressources et des flux d'eau est l'adaptation fondée sur l'écosystème – un concept qui se traduit par une gamme de SfN.

Certaines tendances récentes, comme le développement croissant du stockage en surface de l'eau d'une part, et le vieillissement des infrastructures d'autre part, soulignent le besoin de solutions innovantes qui intègrent plus clairement les perspectives des services écosystémiques, la résilience et les moyens de subsistance dans les processus de planification et de gestion qui portent explicitement sur la variabilité de l'eau. Ces besoins sont exacerbés par la croissance démographique, l'urbanisation rapide et d'autres pressions croissantes sur les ressources en eau. Les infrastructures d'eaux grises d'envergure sont considérées par de nombreux pays comme la solution pour faire face à la variabilité des ressources en eau, en particulier en raison des augmentations de la variabilité induites par les changements climatiques. Ainsi, des infrastructures grises plus importantes (telles que les barrages et les digues de protection contre les inondations) sont en cours de construction et de planification. Le vieillissement des infrastructures grises existantes ajoute un défi supplémentaire – celui selon lequel elles ne seraient ni conformes à la vision qui a été à la base de leur conception ni efficaces puisque les paramètres hydrologiques sur lesquels elles ont été conçues sont en train de changer. Il convient donc de reconnaître les avantages significatifs de la réduction des risques qu'offrent les écosystèmes et les infrastructures vertes et de concevoir des infrastructures vertes et grises en tandem afin de maximiser la performance du système et d'obtenir de meilleurs avantages pour les personnes, la nature et l'économie. Telle est l'essence de l'approche par les SfN.



Le concept de « vivre avec les inondations », qui comprend entre autres une série d'approches structurelles (et non structurelles) qui aident à « se prémunir » contre une inondation, peut faciliter l'application des SfN pertinentes pour réduire les pertes dues aux inondations et, surtout, les risques

De nombreuses Cibles des ODD traitent divers aspects de la gestion et de la variabilité des catastrophes liées à l'eau, explicitement ou implicitement. La Cible 1.5 vise à « renforcer la résilience des pauvres et des personnes en situation vulnérable et réduire leur exposition et leur vulnérabilité aux phénomènes climatiques extrêmes et à d'autres chocs et catastrophes ... ». Les Cibles 2.4 et 9.1 portent sur les « pratiques agricoles résilientes » et les « infrastructures résilientes », respectivement La Cible 11.5 vise à « réduire nettement le nombre de personnes tuées et le nombre de personnes touchées, ... réduire les pertes économiques ... dues directement à ces catastrophes, y compris celles d'origine hydrique, l'accent étant mis sur la protection des pauvres et des personnes en situation vulnérable ». La Cible 13.1 a pour objet de « renforcer, dans tous les pays, la résilience et les capacités d'adaptation face aux aléas climatiques et aux catastrophes naturelles liées au climat tandis que la Cible 15.3 vise à restaurer les terres et sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations ». Il existe des synergies évidentes entre ces objectifs (ONU-Eau, 2016a) et ces synergies ne peuvent devenir plus fortes que si les SfN sont considérées comme un concept les soutenant toutes.

Bien des forums et initiatives de politique internationale ont souligné la nécessité de passer d'une approche réactive aux inondations à une approche préventive, c'est-à-dire à la réduction des risques. C'est dans le domaine de la réduction des risques d'inondation que les SfN sont perçues comme étant les plus porteuses. Le concept de « vivre avec les inondations », qui comprend entre autres une série d'approches structurelles (et non structurelles) qui aident à « se prémunir » contre une inondation, peut faciliter l'application des SfN pertinentes pour réduire les pertes dues aux inondations et, surtout, les risques

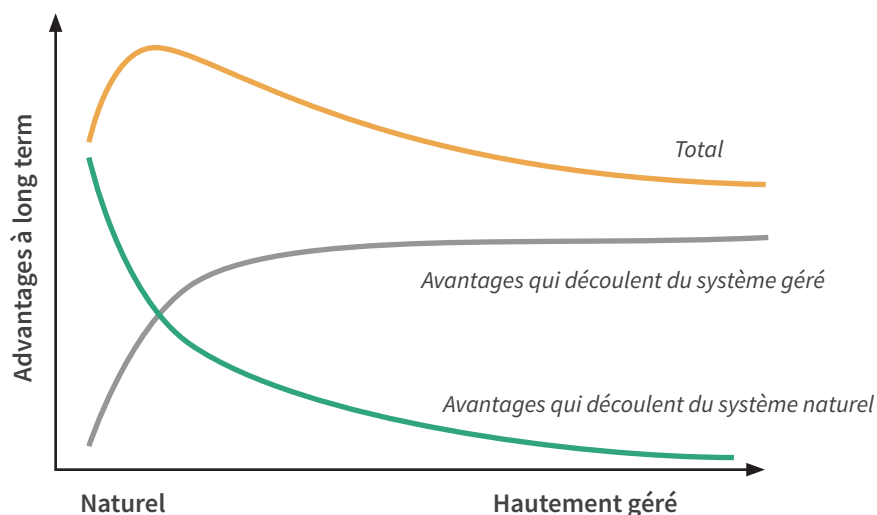
(voir section 5.4). Outre le Programme de développement durable à l'horizon 2030, le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015–2030) appelle également les organismes des Nations Unies concernés à renforcer et à mettre en œuvre de nouveaux mécanismes mondiaux pour sensibiliser et améliorer la compréhension des risques de catastrophes liées à l'eau et leur impact sur la société, et pour faire progresser les stratégies de réduction des risques de catastrophes (UNISDR, 2015). Ce cadre reconnaît également la nécessité de passer d'une planification et d'un redressement essentiellement post-catastrophe à une réduction proactive des risques pour prévenir les catastrophes. Il stipule que les stratégies devraient également envisager un éventail de solutions basées sur les écosystèmes. Si elles sont mises en œuvre à grande échelle, les SfN pourraient donc changer la façon dont les ressources en eau sont gérées, en particulier dans le contexte des inondations et des sécheresses à forte incidence. Le rôle principal des SfN est d'accroître la résilience afin de réduire la probabilité qu'une catastrophe survienne, bien qu'elles puissent également jouer un rôle dans le relèvement post-catastrophe. Les SfN devraient faire partie des mesures de planification et de préparation requises pour réduire les risques de catastrophe, la vulnérabilité et l'exposition, et pour renforcer la résilience de la société pendant et après la catastrophe.

Les SfN sont également prises en compte dans le Nouveau Programme pour les villes, cadre pour la durabilité urbaine adopté en 2016 dans la perspective que d'ici à 2050, les populations urbaines vont doubler et représenter 70 % de la population mondiale. Le Nouveau Programme pour les villes vise à influencer la façon dont les villes sont planifiées, conçues, financées, développées, gouvernées et gérées. Citant spécifiquement les liens vers les ODD, le Nouveau Programme pour les villes aborde les questions d'eau et de SfN : par exemple le paragraphe 101 fait référence à l'eau et les SfN, tandis que le paragraphe 157 fait référence à l'innovation fondée sur la nature (AGNU, 2016). Cependant, il reste à voir la façon dont ce programme complexe peut être et sera géré, déployé et mis en œuvre. Enfin, l'Accord de Paris sur les changements climatiques (CCNUCC, 2015) met fortement l'accent sur l'adaptation, ce qui ne sera certainement pas possible sans déployer une gamme de SfN qui traitent de la variabilité croissante de l'eau et des extrêmes induits par les changements climatiques.

## 4.2 Des SfN pour l'atténuation des risques, de la variabilité et des changements liés à l'eau

La plupart des interventions de gestion des ressources en eau comportent un élément de SfN (PNUE-DHI/UICN/TNC, 2014) et il en va de même pour les interventions qui traitent de la gestion de la variabilité et du changement de l'eau. Lorsqu'un écosystème naturel (par exemple

Figure 4.2 Évolution des flux d'avantages avec la modification de l'écosystème



Source : Acreman (2001, fig. 3).

aquatique) est modifié, certains des « avantages naturels » qui en découlent sont perdus, mais peuvent être remplacés par des avantages découlant de modifications. Toutefois, il existe un « point de non-retour » (qui est très difficile à déterminer) dans ce processus où la somme de tous les avantages atteint le maximum, et d'autres modifications ne feront que diminuer le flux total des avantages (Acreman, 2001 ; figure 4.2). En conséquence, les SfN peuvent être situées dans n'importe quelle partie de ce spectre allant de « purement naturel » (une zone humide non modifiée qui peut avoir une capacité naturelle à réguler les débits) à un barrage en béton construit en travers d'un cours d'eau naturel. Mais avec des composants pertinents et des règles d'exploitation, comme les versions dédiées à des fins environnementales.

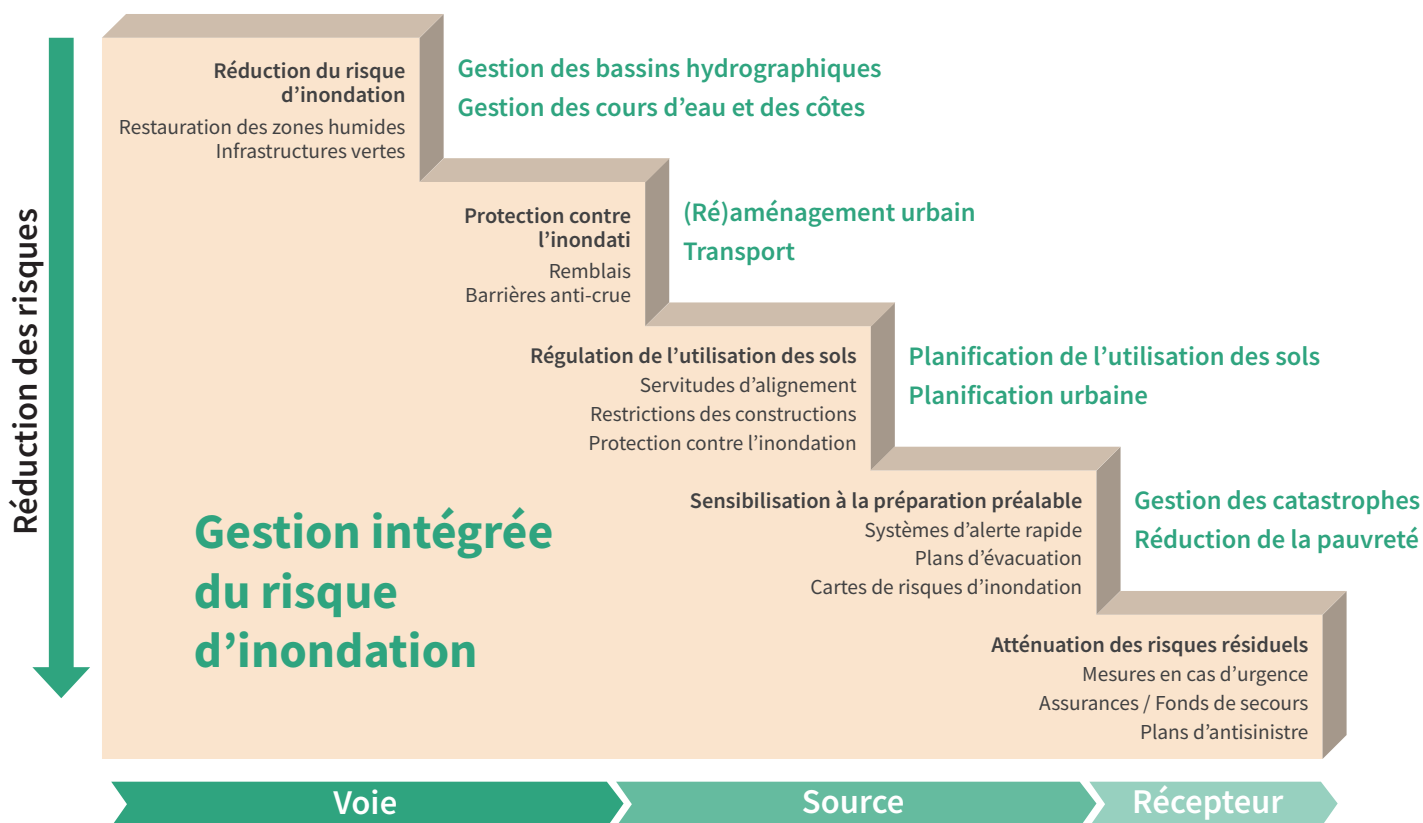
Diverses SfN existent à divers stades de développement et de mise en œuvre, allant des approches conceptuelles et des directives générales aux pratiques communément adoptées. Elles sont toutes importantes et utiles en elles-mêmes, car ayant déjà fait leurs preuves, ou le feront lorsqu'elles seront adoptées.

#### 4.2.1 Des SfN pour la gestion des inondations

Comme exemple de cadre holistique des SfN, on peut citer le *Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide (or Flood Green Guide – FGG ; WWF, 2017)*. Le FGG aide les communautés au niveau local dans l'utilisation des SfN pour la gestion des risques de catastrophe. Il suggère que les mesures de gestion des risques d'inondation devraient être spécifiques au site, intégrées et équilibrées dans tous les secteurs concernés et basées sur le concept de gestion intégrée des crues défini par le Programme associé de gestion des inondations (OMM, 2009), un programme conjoint de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Partenariat mondial pour l'eau. Les principes cardinaux du FGG sont les suivants :

- concevoir des méthodes de gestion des inondations en vue de maximiser les avantages nets des eaux de crue tout en minimisant les risques d'inondation, étant donné que les inondations peuvent être un processus naturel et bénéfique ;
- appliquer la gestion des risques d'inondation à l'échelle d'un bassin hydrographique pour comprendre comment le risque d'inondation spécifique à une communauté donnée se rapporte au reste du bassin hydrographique ;
- envisager des méthodes non structurelles dans la gestion des inondations, puis, au besoin, inclure une ingénierie structurelle, naturelle, fondée sur la nature ou une ingénierie lourde, dans le cadre d'une approche intégrée ;
- reconnaître les multiples aspects sociaux, économiques, environnementaux et politiques affectés par la gestion des inondations dans un bassin hydrographique ;
- intégrer la réduction des risques d'inondation et l'adaptation aux changements climatiques dans la récupération et la reconstruction, afin que le relèvement post-inondation améliore la résilience de la communauté aux phénomènes extrêmes futurs, évite l'apparition de nouvelles vulnérabilités sociales ou environnementales et renforce la capacité d'adaptation communautaire aux incertitudes climatiques ;
- soutenir l'équité sociale et se conformer aux lois et institutions locales/nationales, y compris les normes et coutumes sociales informelles lors des processus de prise de décisions ; et
- renforcer les processus de résilience et les moyens de subsistance, et autonomiser les femmes et les groupes sociaux défavorisés.

Figure 4.3 Une illustration du concept SPR de l'OMM



Source : Adapté de l'OMM (2017, fig. 4). Mise à disposition gracieuse par Giacomo Teruggi (OMM).



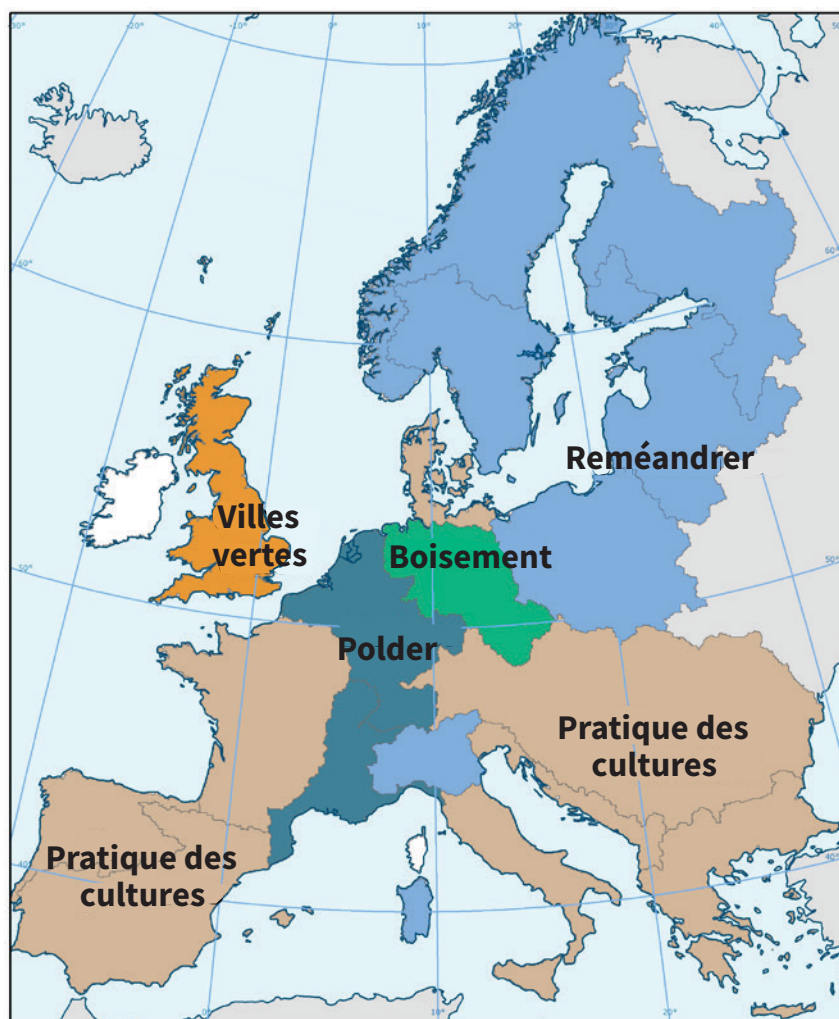
Les politiques de gestion des inondations dans certains pays commencent à envisager plus sérieusement les solutions qui impliquent des processus naturels

La gestion des inondations, comme toute gestion des catastrophes, tient compte de plusieurs composantes interdépendantes : la vulnérabilité et l'exposition aux inondations, combinées au risque, entraînent un risque global d'inondation. Le concept de « source to pathway to receptor » (SPR) de l'OMM (OMM, 2017) en donne une illustration. Le SPR permet de faire la distinction entre les risques d'inondation, les voies qui mènent à l'exposition des « récepteurs », et les

conséquences des inondations sur les personnes et la pauvreté. Les SfN peuvent jouer un rôle dans la source (par exemple par la restauration des zones humides ou les pratiques d'utilisation des terres) et dans la voie (par exemple par divers moyens d'augmenter la capacité de transport et de stockage) (voir figure 4.3).

Burek et al. (2012) est un exemple d'une analyse régionale à grande échelle du potentiel que les SfN peuvent avoir dans la réduction des risques d'inondation. En utilisant une approche de modélisation par simulation, l'étude a évalué l'efficacité (en termes de réduction des crues) d'une large gamme (25) de mesures de rétention naturelle des eaux en Europe, les agrégeant en plusieurs scénarios/portefeuilles majeurs. Le coût de mise en œuvre a également été abordé. L'étude a montré que les SfN pourraient réduire jusqu'à 15 % des pointes de crue de 1 à 20 ans au niveau local, bien qu'au niveau régional, des réductions de débit de pointe de seulement 4 % aient été observées. Certes à première vue ces réductions pourraient sembler minimales, mais juste quelques points de pourcentage peuvent faire la différence entre une inondation et une catastrophe. L'évaluation a révélé que les SfN peuvent réduire plus efficacement les pointes de crues pour les petits bassins hydrographiques et pour les périodes de récurrence plus faible (les inondations qui se produisent plus fréquemment). Dans le même temps, l'étude a relevé des cas où les SfN pourraient

**Figure 4.4** Mesures régionales les plus efficaces en matière des SfN pour réduire les pics de crue sur une période de retour de 20 ans



Source : Burek et al. (2012, fig. VI-1, p. 90).

augmenter les crêtes de crue au niveau local. Cela montre qu'il est nécessaire que les SfN soient localisées et conçues avec soin.

Pour le Royaume-Uni, il s'est avéré que les mesures les plus efficaces étaient le scénario « green city » (ville verte) – qui est une combinaison de mesures en zone urbaine telles que les infrastructures vertes, les toits verts, les jardins pluviaux, les dépressions de parc et dispositifs d'infiltration – suivi par les « pratiques culturelles » améliorées (une combinaison de méthodes telles que le paillage et labourage). Pour les régions du Rhin et du Rhône, les scénarios les plus efficaces sont ceux qui réduisent les pointes de crue le long du fleuve, par exemple les polders. Pour la région de l'Elbe à Ems, le boisement, suivi de près par les cultures et les prairies, s'est avéré être la mesure la plus efficace, car une grande partie de la zone présente un fort potentiel de conversion de l'utilisation des terres. Pour les régions du Pô et de la Baltique, l'aménagement du tracé a le potentiel le plus important de réduire les crêtes de crue, et il a également été jugé assez

efficace pour presque toutes les autres régions. Les pratiques culturelles étaient la mesure la plus efficace pour l'Ibérie, la France atlantique, le bassin du Danube, les Balkans, le sud de l'Italie et la Grèce. La pratique des cultures a également été une mesure très efficace pour le Danemark et l'Allemagne du Nord (voir figure 4.4). Ces exemples montrent clairement que le choix de la SfN est fonction, sans surprise, du type prédominant d'utilisation des terres et des paramètres sociaux, écologiques et hydrologiques.

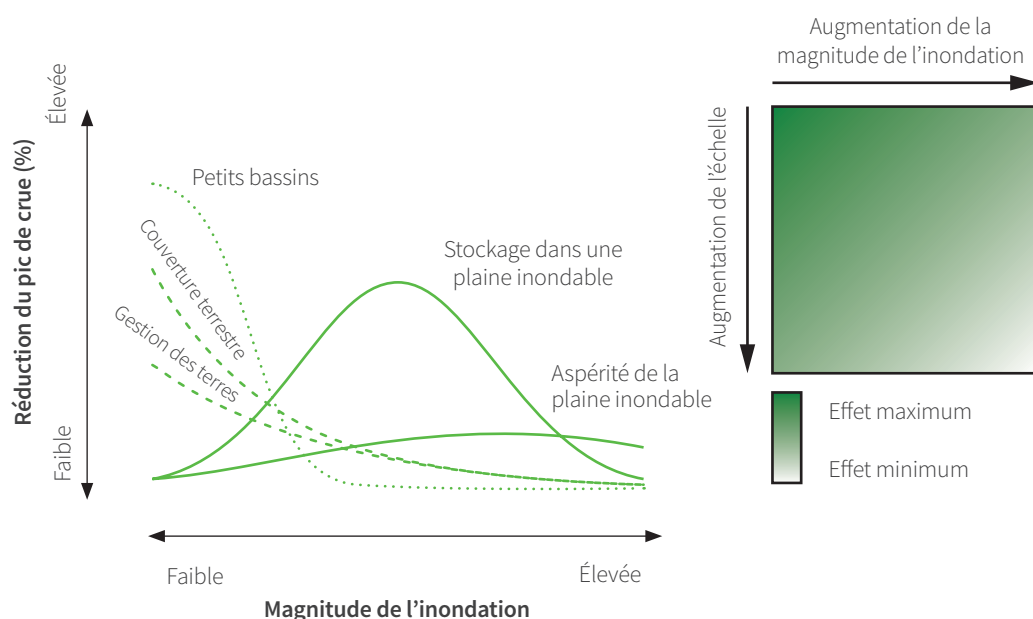
Les politiques de gestion des inondations dans certains pays commencent à envisager plus sérieusement les solutions qui impliquent des processus naturels. Par exemple, la « gestion naturelle des inondations » au Royaume-Uni vise à restaurer ou à améliorer les processus de captage qui ont été affectés par l'intervention humaine. Dadson et al. (2017) ont analysé plus de 20 types de mesures de gestion des inondations, regroupées en trois catégories principales : i) la rétention d'eau par la gestion des infiltrations et des écoulements, ii) la gestion de la connectivité hydrologique entre les composants du

**Tableau 4.1** Mesures fondées sur le bassin hydrographique qui contribuent à la gestion des inondations

| Thème de gestion des risques d'inondation   | Mesure spécifique  | Exemples  |
|---|--|---|
| <b>Rétention de l'eau dans le paysage : rétention de l'eau à travers la gestion des infiltrations et des écoulements de surface</b> | Changements dans l'utilisation des sols                      | Conversion de terres arables en prairies, foresterie et création de zones boisées, restrictions sur les cultures pratiquées sur les versants (par exemple maïs d'ensilage), les landes et restauration des tourbières |
|   | Utilisation des terres arables                               | L'ensemencement au printemps contre l'ensemencement en hiver, cultures de couverture, extensification, rotation des cultures  |
|   | Pratiques agricoles axées sur l'élevage                      | Faibles densités d'élevage, restriction de la saison des pâturages  |
|   | Pratiques de conservation du sol                             | Travail de conservation du sol, labour suivant les courbes de niveau/l'inclinaison transversale   |
|   | Drainage des champs (afin d'accroître le stockage)           | Cultures en profondeur et drainage afin de réduire la perméabilité  |
|   | Bandes tampons et zones tampons                              | Ceintures herbeuses, haies, brise-vents, diguettes, bandes riveraines tampons, contrôle de l'érosion des berges   |
|   | Gestion des mécanismes                                       | Faibles pressions au sol, évitement des conditions d'humidité   |
|   | Utilisation des terres urbaines                              | Augmentation des zones perméables et stockage de surface  |
| <b>Rétention d'eau dans le paysage: gestion de la connectivité et du convoyage</b>  | Gestion de la connectivité sur les flancs de colline         | Blocage des tranchées de drainage agricole et des emprises des landes   |
|   | Bandes tampons et zones tampons pour réduire la connectivité | Ceintures herbeuses, haies, brise-vents, diguettes, lisières de champs, bandes riveraines tampons   |
|   | Entretien des chenaux  | Modifications à l'entretien des emprises des fossés de drainage agricole  |
|   | Opérations de drainage et de pompage                         | Modifications aux barrières, enclos, pistes et ponceaux   |
|   | Structures des exploitations                                 | Modifications aux barrières, enclos, pistes et ponceaux   |
|   | Rétention dans l'exploitation                                | Étangs et fossés de rétention   |
|   | Restauration des cours d'eau                                 | Restauration du profil et des sections transversales des cours d'eau, détournement de cours d'eau et modifications apportées aux formes en plan   |
|   | Rétention d'eau en altitude                                  | Étangs d'exploitation piscicole, fossés de drainage, zones humides  |
| <b>Aménagement de l'espace pour l'eau : convoyage et stockage dans les zones inondables</b>   | Zones de stockage de l'eau                                   | Stockage en ligne ou hors ligne, zones de ruissellement, polders, bassins de retenue  |
|   | Zones humides  | Création des zones humides, bassins de stockage artificiels, niveaux d'eau contrôlés  |
|   | Restauration/recyclage des fleuves                           | Reprofilage des cours d'eau, travaux sur les canaux, travaux sur les zones riveraines   |
|   | Gestion des fleuves et des cours d'eau                       | Débroussaillage, entretien des canaux et travaux sur les zones riveraines   |
|   | Restauration des plaines inondables                          | Recul des remblais, reconnexion des fleuves et des plaines inondables   |

Source : Dadson et al. (2017, tableau 1, p. 4).

**Figure 4.5** Effet de différentes interventions SfN sur la réduction des pics de crue (à gauche) et l'effet combiné des interventions à l'échelle du bassin avec la magnitude des inondations (à droite)



Source : Dadson et al. (2017, fig. 3, p. 18).

système et du transport de l'eau, et iii) le stockage de l'eau à travers, par exemple, les plaines inondables (voir tableau 4.1). Les auteurs résumant les données actuellement disponibles pour chacune des mesures et ont tenté une analyse semi-quantitative des impacts de plusieurs interventions de gestion des inondations sur la réduction du risque d'inondation (voir figure 4.5).

En guise de conclusion, le résumé donne à retenir, entre autres choses, que « i) des interventions dans l'utilisation des terres et de la couverture terrestre correctement choisies peuvent réduire les débits de pointe locaux après des pluies modérées ; ii) les données ne suggèrent pas que ces interventions auront un effet majeur sur le risque d'inondation en aval à proximité pour les phénomènes les plus extrêmes ; iii) les données disponibles pour les effets en aval des changements dans l'utilisation des terres en amont à une échelle de bassin hydrographique plus grande sont plus limitées, mais actuellement, elles ne suggèrent pas que des changements réalistes dans l'utilisation des terres feront une grande différence en ce qui concerne les risques d'inondation en aval ; ... iv) un suivi à long terme est nécessaire pour séparer les effets de la gestion des terres de ceux de la variabilité climatique, préalable sans lequel il n'est pas judicieux d'extrapoler les résultats des études individuelles à des échelles plus larges ou à des contextes ayant d'autres types de sols et de végétation différents » (Dadson et al., 2017).

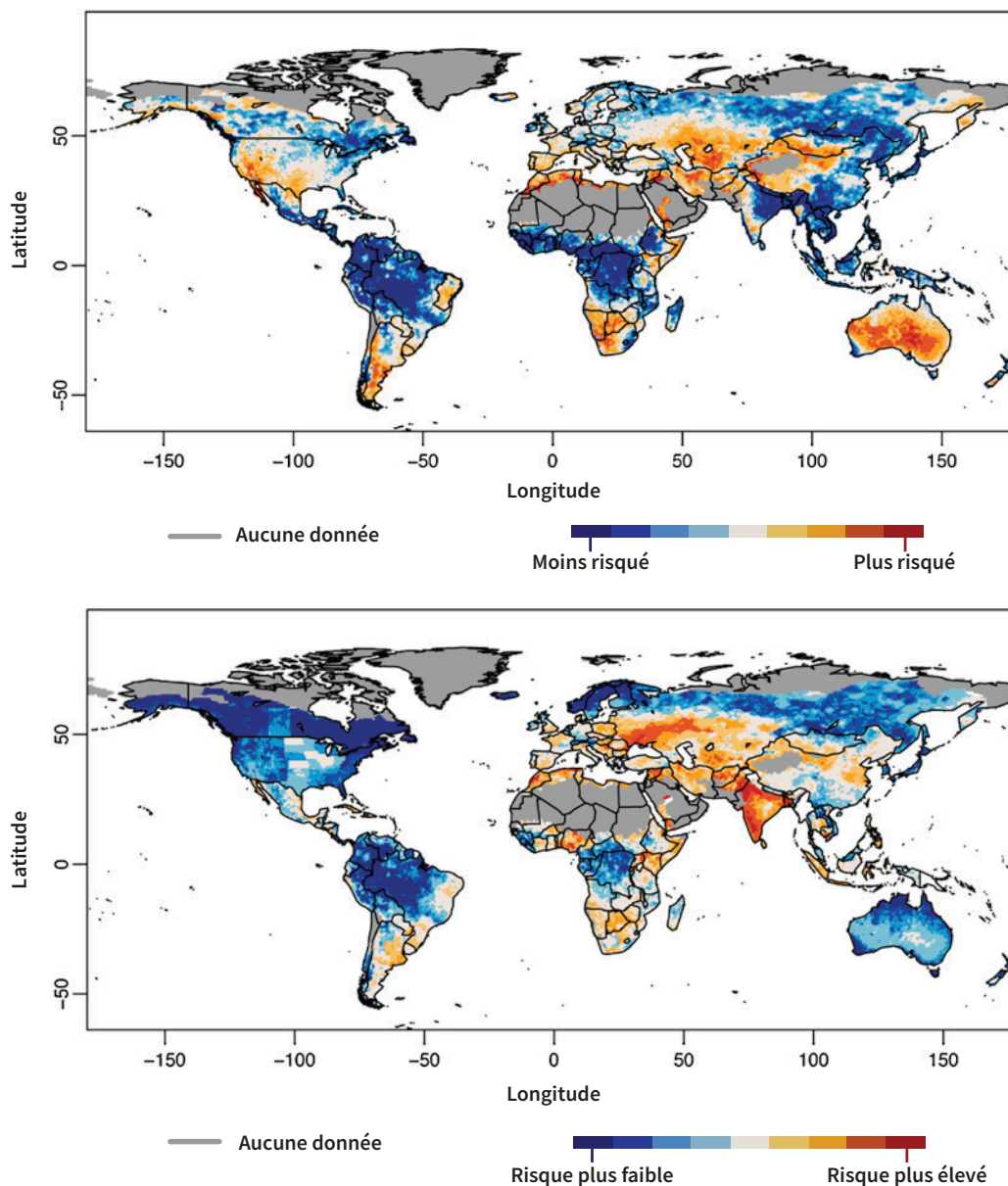
Cela s'applique probablement à toute autre région. Étant donné que les programmes de surveillance sont coûteux et nécessitent beaucoup de temps, on peut tirer des conclusions sur les impacts possibles des changements

dans l'utilisation des terres sur les impacts et les risques d'inondation à partir des analyses d'un changement dans l'utilisation des terres, par exemple associé à la guerre (Lacombe et Pierret, 2013). D'après ces études, des changements dans l'utilisation des terres à grande échelle ont des effets hydrologiques profonds et durables. Ces connaissances permettent également de prédire les impacts potentiels que les SfN peuvent avoir sur la réduction des risques, en inversant les changements négatifs dans l'utilisation des terres grâce à la restauration des terres.

#### 4.2.2 Des SfN pour la gestion de la sécheresse

La sécheresse se trouve à l'autre extrémité du spectre de la variabilité liée à l'eau. Les sécheresses sont généralement chroniques (s'accumulant et persistant à long terme), contrairement aux inondations qui sont aiguës (à court terme et abruptes). Les sécheresses ne se produisent pas seulement dans les zones arides, comme on l'entend souvent, mais elles peuvent également poser un risque de catastrophe dans les régions qui ne sont normalement pas pauvres en eau (Smakhtin et Schipper, 2008). La sécheresse est très complexe et sa structure globale peut être décrite à l'aide d'une série d'indicateurs (Eriyagama et al., 2009). Carrão et al. (2016) est peut-être l'analyse la plus récente et la plus complète du risque de sécheresse à l'échelle mondiale, identifiant trois déterminants indépendants : danger, exposition et vulnérabilité. Le risque de sécheresse a été établi à partir des déficits historiques de précipitations ; l'exposition est basée sur une agrégation d'indicateurs quadrillés de la densité de la population et du bétail,

Figure 4.6 La carte mondiale des dangers (en haut) et des risques (en bas) de sécheresse



Source : Adapté de Carrão et al. (2016, figures 3 et 9, pp. 115 et 120).

du couvert végétal et du stress hydrique ; et la vulnérabilité à la sécheresse a été calculée comme la combinaison de facteurs de haut niveau d'indicateurs sociaux, économiques et infrastructurels, collectés aux niveaux national et infranational. Les cartes des dangers et des risques (voir figure 4.6) montrent qu'à travers des mesures appropriées visant à réduire l'exposition et la vulnérabilité, le risque de sécheresse peut être considérablement réduit dans chaque région exposée à la sécheresse comme l'Australie et le sud des États-Unis. C'est dans ces contextes que le rôle des SfN peuvent être le plus important.

Au cours de ces dernières décennies, la fréquence, l'intensité et la durée des sécheresses ont connu une augmentation constante, en partie à cause des changements climatiques. Au cours de la période 2015-

2016, le phénomène météorologique El Niño a provoqué les sécheresses les plus graves et les plus dévastatrices dans le monde. Selon l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) et l'Agence d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) des États-Unis, l'année 2016 a battu le record de l'année la plus chaude depuis le début de l'élaboration de rapports sur la question en 1880. Cela était dû en grande partie à l'un des phénomènes El Niño les plus violents jamais enregistrés (NASA, 2017).

La réponse internationale à la sécheresse s'est concentrée sur des mesures « stop and go » qui visent à réagir. Il s'avère donc nécessaire de promouvoir des mesures plus proactives et axées sur le risque (Wilhite et al., 2007). Les SfN qui aident à atténuer les effets néfastes de la sécheresse sont normalement polyvalents et peuvent

**Tableau 4.2** Les SfN pour la gestion des risques de sécheresse dans la Corne de l'Afrique

| Études de cas  | Interventions des solutions fondées sur la nature   | Résultats  |
|--|---|--|
| <b>Amélioration de la sécurité alimentaire et des ressources en eau dans le bassin hydrographique de l'Abreha we-Atsebeha (Ethiopie)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sol et talus en pierre, tranchées et puits de percolation</li> <li>• Ravinements convertis en sites de récupération de l'eau</li> <li>• Fontaines transformées en sources d'eau potable</li> <li>• Arbres fruitiers et espèces d'origine naturelle plantés</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Autosuffisance alimentaire de la communauté par la transformation des terres dégradées en terres agricoles productives</li> <li>• Amélioration des systèmes d'irrigation à travers la récupération et le stockage de l'eau</li> <li>• Enrichissement du couvert végétal entraînant l'amélioration de la qualité des sols</li> </ul>   |
| <b>Ressources en eau et moyens de subsistance durables dans le bassin hydrographique du lac Haramaya (Ethiopie)</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesures de conservation des sols et de l'eau</li> <li>• Réglementations applicables aux utilisateurs de l'eau, répartition et prix de l'eau</li> <li>• Possibilités diversifiées de moyens de subsistance</li> <li>• Amélioration de la productivité agricole à travers des semences améliorées, des engrais et une irrigation efficiente</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des différends et conflits liés à l'eau par la mise en place de lois relatives à l'eau en vue de réglementer l'utilisation de l'eau</li> <li>• Amélioration des cultures et de la productivité du bétail à travers des étangs et une meilleure efficacité dans l'utilisation des ressources en eau par l'irrigation goutte-à-goutte</li> <li>• Amélioration de la résilience et la réduction de la vulnérabilité de la société à la sécheresse</li> </ul> |
| <b>Récupération de l'eau aux fins d'autonomisation économique dans le comté de Kitui (Kenya)</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Irrigation à petite échelle</li> <li>• Barrages de sable immergés</li> <li>• Stockage et distribution de l'eau</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de l'approvisionnement qui entraîne l'amélioration de la santé, des moyens de subsistance</li> <li>• Conservation de la biodiversité et enrichissement des eaux souterraines à travers la construction de barrages de sable immergés</li> <li>• Réduction de l'éventualité de conflits liés à l'eau</li> </ul>   |
| <b>Renforcement de la résilience à la sécheresse dans le sous-bassin hydrographique d'Aswa-Agago (Ouganda)</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration des infrastructures des points d'eau</li> <li>• Structures de récupération de l'eau</li> <li>• Conservation de l'environnement</li> <li>• Fonds d'urgence renouvelable et comités des utilisateurs de l'eau</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la qualité ayant entraîné une baisse de la prévalence des maladies d'origine hydrique</li> <li>• Renforcement des connaissances concernant les mesures de conservation de l'environnement telles que la plantation d'arbres polyvalents</li> </ul>  |
| <b>Restauration de la qualité de l'eau ambiante dans le lac Kako (Ouganda)</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion des bassins hydrographiques</li> <li>• Plantation d'arbres et d'autres végétations</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration de la capacité à utiliser du matériel local pour créer des technologies</li> <li>• Acquisition de compétences dans la gestion des bassins hydrographiques et la conservation des terres</li> </ul>   |

Source : Sur la base des données de GWPEA (2016).

être utilisés dans des contextes allant au-delà de la simple gestion de la variabilité et du changement (voir tableau 4.2). En fait, la combinaison de SfN potentielles pour l'atténuation de la sécheresse est essentiellement la même que pour la disponibilité de l'eau (voir chapitre 2).

### 4.2.3 Des SfN pour la gestion de risques multiples

Les SfN peuvent être utilisées pour gérer plus d'un risque et s'appliquer aussi bien au risque d'inondation qu'au risque de sécheresse, par exemple. Comme cela a déjà été mentionné plus haut (voir tableau 4.1), les zones humides – naturelles et artificielles – peuvent jouer un rôle dans la réduction des risques de catastrophe. Les zones humides naturelles et

artificielles démontrent une capacité de gestion des inondations et d'atténuation des risques d'inondation et de tempête en faisant office de barrières naturelles, agissant comme une éponge naturelle emprisonnant la pluie et les eaux de ruissellement, atténuant l'érosion des sols et réduisant les ondes de tempête (souvent en déviant les eaux de surface vers les aquifères sous-jacents) ou protégeant les côtes contre les tempêtes. À mesure que la fréquence des catastrophes naturelles augmente, la compréhension des fonctions des zones humides en tant que SfN peut également contribuer à renforcer la résilience locale de même que la résilience à grande échelle.



Le cas du bassin du fleuve Yangtze en Chine illustre l'immense potentiel des zones humides comme SfN. Ce bassin qui abrite 400 millions de personnes a connu un important orage torrentiel en 1998, causant 4 000 blessés et des dommages évalués à 25 milliards de dollars américains. Le point saillant de la réponse politique apportée par le Gouvernement chinois et baptisée « 32 Character Policy » a été la restauration de 2 900 km<sup>2</sup> de plaines inondables avec la capacité de contenir 13 milliards de m<sup>3</sup> (c'est-à-dire 13 km<sup>3</sup>) d'eau (Wang et al., 2007) en guise de stratégie de gestion du risque de catastrophe. Un réseau de conservation des zones humides a été établi dans le bassin du fleuve Yangtze pour gérer la qualité de l'eau, préserver la biodiversité locale et étendre les réserves naturelles fondées sur les zones humides (Pitcock et Xu, 2010).

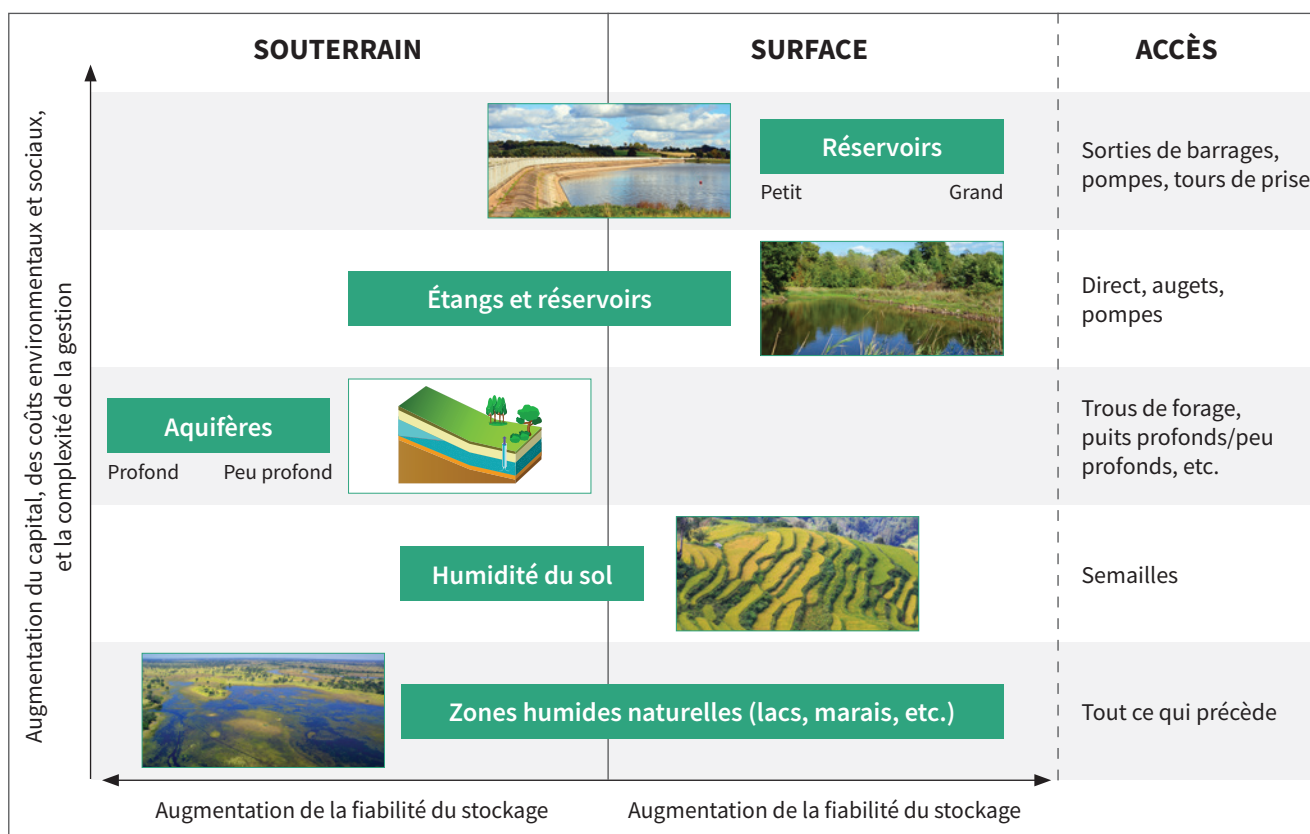
Un autre exemple est le tremblement de terre et le tsunami qui ont frappé le Chili en 2010, entraînant des pertes évaluées à 30 milliards de dollars et affectant gravement les moyens de subsistance des communautés côtières (Réserve nationale de Yali, Valparaiso) (OCDE/CEPALC, 2016). Après cet événement, le gouvernement a annoncé la protection de la majorité de ces zones humides côtières en tant que site Ramsar, reconnaissant les avantages à grande échelle des écosystèmes des zones humides dans la réduction des risques de catastrophes. On peut également citer à titre d'exemple l'ouragan Katrina, qui a inscrit son nom dans l'histoire des États-Unis comme la catastrophe la plus meurtrière (80 % de la ville a été inondée ; 1 500 victimes et près de 900 000 personnes déplacées). Katrina a mis à nu l'échec des stratégies de réduction des risques de catastrophe existantes qui se concentraient de plus en plus sur les crues et digues de la ville – des infrastructures entièrement grises. Comme indiqué dans le Prologue, la perte de zones humides dans le delta du Mississippi, à travers le piégeage des sédiments dans les barrages en amont, était un facteur majeur justifiant les impacts élevés de l'ouragan. Après le passage de Katrina, l'Assemblée législative de l'État de Louisiane a créé l'Autorité de protection et de restauration des côtes, et la ville de La Nouvelle-Orléans a révisé ses codes de construction afin de tirer parti des services de réduction des risques des zones humides (Jacob et al., 2008 ; Rogers et al., 2015).

Toutefois, les fonctions hydrologiques des écosystèmes naturels tels que les zones humides et les plaines inondables sont bien moins comprises que celles qu'offrent les infrastructures grises. Par conséquent, elles sont davantage négligées dans l'évaluation des politiques et dans la planification et la gestion des ressources naturelles et du développement. Les systèmes naturels peuvent, dans certaines circonstances, aider à amortir les effets négatifs des phénomènes hydrologiques extrêmes, réduisant ainsi les risques pour les personnes. Ils jouent ce rôle de deux manières. Tout d'abord, en atténuant les impacts physiques immédiats, puis en aidant les gens à survivre et à se relever à la suite de phénomènes de grande ampleur. Toutefois, le rôle que jouent les systèmes naturels est complexe. Leurs effets sur les débits d'eau et

les ondes de tempête dépendent de nombreux facteurs, y compris d'autres caractéristiques des terres, qui varient considérablement d'un endroit à l'autre. De plus, les systèmes naturels sont dynamiques, ce qui signifie que leur rôle peut changer avec le temps. Parfois, ils peuvent atténuer les aléas, tandis que dans d'autres circonstances, ils peuvent contribuer aux processus naturels qui sont à l'origine de ces mêmes aléas. Par exemple, il a été démontré que les zones humides d'amont en Afrique australe atténuent les débits de crues au début de la saison des pluies lorsqu'elles sont relativement sèches, mais génèrent des eaux de ruissellement et contribuent aux débits de crues plus tard pendant la saison des pluies lorsqu'elles sont saturées (McCartney et al., 1998). L'absence d'une compréhension quantitative détaillée des fonctions de régulation des systèmes naturels et des orientations concernant leur interprétation dans le contexte de la réduction des risques de catastrophe demeure la principale lacune à combler dans les connaissances scientifiques actuelles. Il est souvent difficile de savoir exactement quelles fonctions sont exécutées et comment ces fonctions changent avec le temps (c'est-à-dire entre les saisons et d'une année à l'autre – voir Bullock et Acreman, 2003). De plus, le manque d'informations quantitatives et d'une méthode reconnue pour intégrer les fonctions de régulation dans les processus de prise de décisions en relation avec la réduction des risques de catastrophe rend difficile le développement des SfN dans ce cadre. Ce qui rend plus complexe cette situation c'est qu'il est de plus en plus difficile de définir ou même d'identifier les écosystèmes « naturels ». La plupart des services écosystémiques impliqués dans les processus de réduction des risques de catastrophes proviennent de paysages aménagés – qui peuvent inclure ou non des éléments « naturels ».

Ces complexités sont illustrées par une récente tentative d'évaluation des fonctions de régulation du débit des écosystèmes naturels (c'est-à-dire des zones humides, des plaines inondables et des zones boisées de miombo) dans le bassin du Zambèze par McCartney et al. (2013). La méthode développée dans cette étude utilise les enregistrements de débit observés et les techniques hydrologiques standard « pour dériver une série temporelle simulée d'écoulement en l'absence d'un écosystème. Cela peut ensuite être comparé à une série chronologique observée pour évaluer l'impact de l'écosystème sur le régime d'écoulement. La méthode a été appliquée à 14 points dans le bassin. Les résultats indiquent que les différents écosystèmes affectent les écoulements de différentes manières. De manière générale : i) les plaines inondables réduisent les débits de crues et augmentent les basses eaux ; ii) les zones humides d'amont augmentent les débits de crues et diminuent les basses eaux ; iii) la forêt de miombo, lorsqu'elle couvre plus de 70 % du bassin hydrographique, diminue les débits de crues et diminue les basses eaux. Cependant, dans tous les cas, il y a eu des exemples qui produisent des résultats contraires et il n'a pas été trouvé de corrélations simples entre l'étendue d'un type d'écosystème au sein d'un bassin hydrographique et l'impact sur le régime d'écoulement n'ont pas été trouvées. » (McCartney et al., 2013, p. vii). « Cela confirme

**Figure 4.7** Continuum du stockage de l'eau



Source : Adapté de McCartney et Smakhtin (2010, fig. 2, p. 5).

que les effets sur le débit sont fonction non seulement de la présence ou de l'absence de différents types d'écosystèmes, mais aussi d'un ensemble d'autres facteurs biophysiques, notamment la topographie, le climat, le sol, la végétation et la géologie. Ainsi, les fonctions hydrologiques des écosystèmes naturels dépendent, dans une large mesure, de caractéristiques spécifiques au lieu qui rendent difficile la généralisation » (McCartney et al., 2013, p. 26). Dans une large mesure, il en va de même pour les infrastructures grises, les écosystèmes/paysages aménagés et les applications hybrides constituées d'infrastructures vertes et grises.

Les zones humides aménagées (voir les chapitres 3 et 5) – un autre éventail de SfN ou de solutions hybrides – sont de plus en plus utilisées pour le traitement des eaux pluviales, la restauration de l'hydrologie naturelle des bassins hydrographiques urbains, la réduction de l'érosion en aval causée par les écoulements d'eaux pluviales et, plus récemment, comme une stratégie de gestion des risques de catastrophes (Tidball, 2012). On fait valoir que la restauration des plaines inondables et la construction de nouvelles zones humides pourraient aider à gérer la variabilité et les changements hydroclimatiques, et qu'une telle mesure est porteuse d'avantages environnementaux et socioéconomiques partagés étant donné qu'elle aide à se prémunir contre les phénomènes climatiques extrêmes et les catastrophes (Benedict et McMahon, 2001 ; Beatley, 2011 ; Haase, 2016). Les zones

humides aménagées sont bâties à dessin pour fournir des services écologiques spécifiques tels que le traitement des eaux usées municipales, industrielles et agricoles, ou pour offrir des espaces de loisirs et assurer la gestion des eaux de ruissellement urbain (TEEB, 2011 et encadré 4.1). Elles revêtent donc une importance particulière pour le Nouveau Programme pour les villes, dans la mesure où elles peuvent être appliquées afin d'atténuer les impacts des changements climatiques et des phénomènes climatiques extrêmes dans les environnements urbains, et pour assurer la protection des zones urbaines de basse altitude. À titre d'illustration, Singapour a mis cet argument en avant pour élaborer son plan d'adaptation et d'atténuation des effets des changements climatiques par la construction de zones humides et de « corridors verts » (Newman, 2010).

Les discussions qui précèdent suggèrent qu'il est nécessaire de revoir le concept global de stockage de l'eau dans les contextes des infrastructures vertes et grises et de la réduction des risques de catastrophe. McCartney et Smakhtin (2010) ont introduit le concept de continuum de stockage de l'eau (voir figure 4.7), suggérant que la planification du stockage à l'échelle du bassin fluvial et à l'échelle régionale devrait envisager un éventail d'options de stockage en surface et sous la surface (et leurs combinaisons) pour obtenir les meilleurs résultats environnementaux et économiques face à la variabilité croissante des ressources en eau. Le concept de SfN

faisait partie intégrante de cette approche, car un éventail d'options de stockage envisagées comprenait diverses formes de méthodes naturelles de stockage, telles que les zones humides et les aquifères. Sayers et al. (2014) reconnaissent également que les zones humides, les dunes, le stockage et l'infiltration en altitude sont toutes des infrastructures légitimes de gestion des inondations et devraient être utilisés pour gérer les eaux de crue aux côtés d'infrastructures grises « conventionnelles » telles que les remblais et les barrières. Les mesures naturelles de gestion des inondations ne fourniront pas nécessairement une protection contre la plupart des phénomènes extrêmes de façon autonome, mais elles peuvent modérer les plus fréquentes (et les plus petites) et réduire le coût des infrastructures conventionnelles (grises) si elles sont utilisées conjointement. Dans le même temps, les premiers résultats issus d'un bassin hydrographique en Angleterre ont montré que les mesures conventionnelles de protection contre les inondations et les mesures de gestion naturelle des inondations peuvent offrir des avantages comparables et que les avantages des interventions naturelles de gestion des inondations augmentent en présence de phénomènes climatiques extrêmes (Sayers et al., 2014). Dans l'ensemble, une combinaison de solutions axées sur la nature ou intégrées à la nature (telles que la gestion des terres, le remblayage des terres humides et la reconnexion des plaines inondables) et certaines mesures « de rigueur » (par exemple les canaux de dérivation, le stockage contrôlé, etc.) permet de gérer les risques et promouvoir les services écosystémiques simultanément.

Les SfN relatives aux eaux souterraines et aux aquifères jouissent du plus grand potentiel largement inexploité pour l'atténuation des impacts négatifs des inondations et des sécheresses dans la même région/le même bassin, et les impacts des changements climatiques progressifs dans l'ensemble. Les eaux souterraines jouent un rôle environnemental important dans le maintien des débits des cours d'eau et des services écosystémiques. Les eaux souterraines deviennent de plus en plus une importante ressource pour le développement humain et l'économie. Elles sont plus accessibles aux communautés les moins nanties que les écoulements fluviaux, par exemple, et moins vulnérables aux impacts des changements climatiques tels que l'augmentation des températures. Il faut ajouter à cela le rôle d'une meilleure gestion des sols (une SfN) pour la gestion des infiltrations, et par conséquent les eaux de ruissellement et la recharge des eaux souterraines, ainsi que la rétention d'humidité du sol, qui est un facteur particulièrement important en matière de sécurité hydrique et de production agricole.

Les aquifères ont une grande capacité de stockage. Cette capacité tient compte non seulement des eaux souterraines déjà dans les aquifères, mais également des eaux supplémentaires. Un aquifère d'eau souterraine est un tampon unique permettant de surmonter les fluctuations dans l'approvisionnement en eau. Par exemple, dans divers domaines touchés par les variations saisonnières, l'excédent d'eau pendant les périodes humides peut être stocké sous la surface afin d'améliorer par la suite

## ENCADRÉ 4.1

### GESTION DE L'EAU ET PRÉVENTION DES INONDATIONS EN FRANCE – LafargeHolcim

LafargeHolcim – une grande entreprise de matériaux de construction – a démontré comment les carrières peuvent être utilisées comme réserves d'eau en cas d'inondation, et que la capacité de stockage dans les zones restaurées et spécialement conçues dans les carrières actives réduit ou prévient les inondations. L'entreprise a travaillé pendant plus de 15 ans avec la municipalité de Bellegarde dans le sud de la France pour développer l'infrastructure de prévention des inondations et créer des zones humides qui sont devenues pleinement opérationnelles en 2015. Les zones de carrière extraites ont été converties en réservoirs d'eaux pluviales d'une capacité totale de 2,5 millions de m<sup>3</sup>, réduisant ainsi le risque d'inondation dans les communautés locales (voir la photo). L'expérience de LafargeHolcim montre que le développement de projets de réhabilitation de carrières avec les autorités et communautés locales aboutit à une situation de gain mutuel : les dommages causés par les inondations sont évités, des zones humides riches en biodiversité sont créées et des espaces de loisirs communautaires sont développés (WBCSD, 2015b).

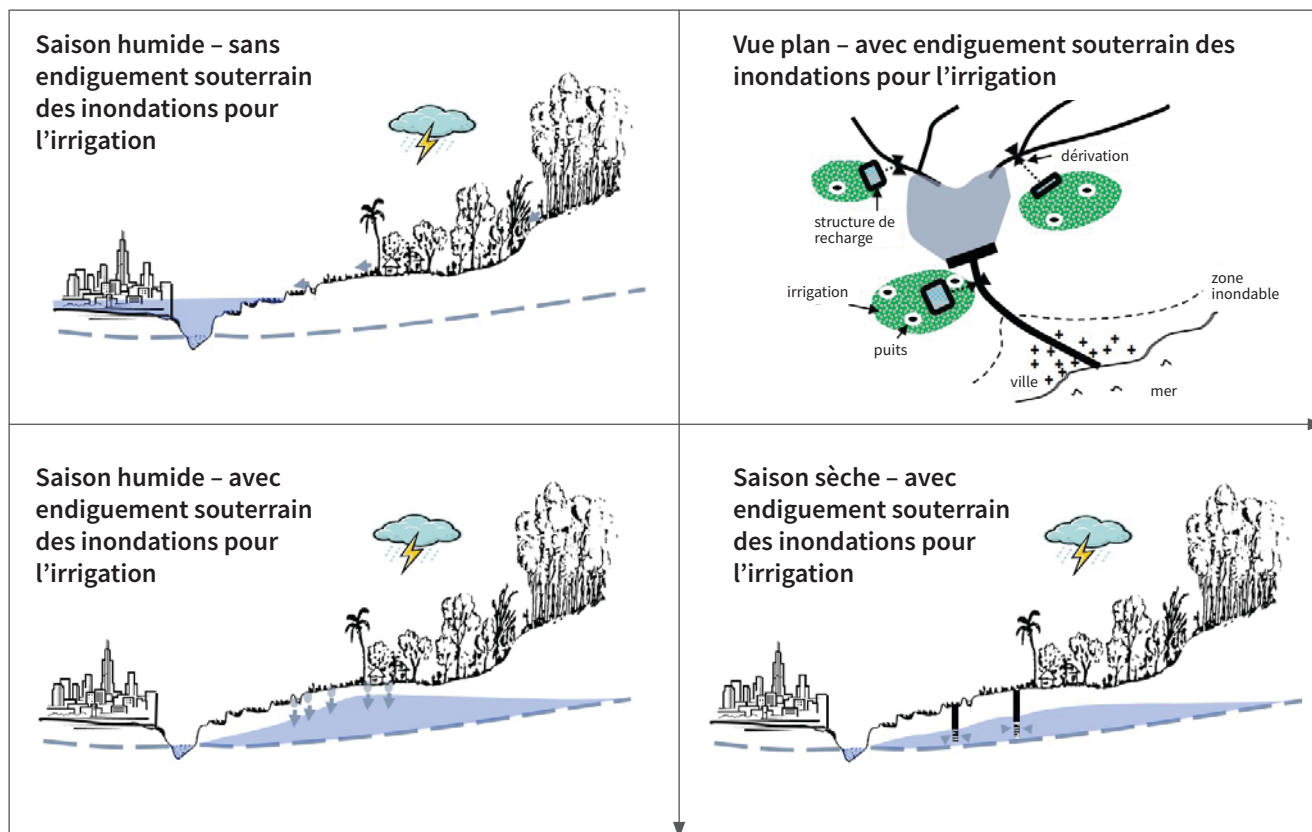
**Figure |** Les carrières de LafargeHolcim dans la commune de Bellegarde, au sud de la France, converties en retenues d'eaux pluviales



Photo : WBCSD.

la disponibilité de l'eau douce pendant les périodes de sécheresse. Le stockage souterrain, amélioré grâce à des méthodes d'épandage, de recharge ou d'injection simples ou plus avancées sur le plan technique, permet un stockage d'eau douce supplémentaire qui peut accroître la sécurité hydrique. Ces techniques qui améliorent intentionnellement la recharge naturelle des eaux souterraines en construisant des infrastructures ou en modifiant le paysage sont collectivement connues sous le nom de réalimentation dirigée des aquifères (MAR).

**Figure 4.8** Résumé schématique du concept d'UTFI



Source: Basé sur Pavelic et al. (2012).

Cette SfN a le potentiel de servir à plusieurs fins (Dillon et al., 2009 ; Gale et al., 2006), y compris l'optimisation du stockage de l'eau, la réalimentation des aquifères en voie d'épuisement, l'amélioration de la qualité de l'eau, l'amélioration de la qualité du sol et des avantages écologiques tels que les communautés végétales qui dépendent des eaux souterraines ou des cours d'eau situés en aval.

Les SfN centrées sur les aquifères, telles que les interventions visant la MAR, peuvent être appliquées dans certaines conditions physiographiques afin d'atténuer les risques d'inondation et de sécheresse dans le même bassin fluvial. De telles solutions durables, rentables et évolutives peuvent être particulièrement pertinentes dans le contexte des pays en développement où la vulnérabilité aux catastrophes liées à l'eau et aux impacts des changements climatiques reste sans précédent. Une solution innovante appelée « underground taming of floods for irrigation » (UTFI) a été développée spécifiquement pour ces cas (Pavelic et al., 2012 ; 2015).

L'UTFI consiste à faciliter la recharge avec à un débit élevé en saison humide pour effectuer le stockage dans les aquifères se trouvant dans les bassins hydrographiques, atténuant ainsi les inondations locales et en aval tout en faisant face aux sécheresses dans la mesure où elle rend disponibles des eaux souterraines supplémentaires pour

tous les besoins humains, y compris l'intensification de la production de cultures irriguées (Pavelic et al., 2012 ; 2015). L'UTFI est une application spécifique qui place la pratique bien établie de réalimentation dirigée des aquifères dans une perspective à plus grande échelle, et permet de gérer de façon plus holistique les ressources en eau de surface et souterraines dans un bassin. L'UTFI utilise des infrastructures naturelles (aquifères) à une échelle sans précédent et représente donc essentiellement un « programme de SfN » à grande échelle. La figure 4.8 illustre ce concept de SfN en montrant la transformation envisagée par rapport à la situation existante (excédent de ruissellement incontrôlé pendant les périodes humides, ce qui entraîne souvent une inondation catastrophique en aval – en haut à gauche), à travers une gamme de dérivations et de structures de réalimentation dirigée des aquifères dans un bassin fluvial (en haut à droite – vue en plan) qui recueillent cet excédent d'eau dans les aquifères et réduisent les inondations en aval, évitant les catastrophes (en bas à gauche), et création d'un bassin « inondable et sans sécheresse » (en bas à droite), où l'excédent d'eau récupéré pendant la saison des pluies et stocké dans les aquifères est utilisé pour l'irrigation dans les années plus sèches suivantes.

L'UTFI vise à transformer ces risques en avantages sociétaux et environnementaux en termes :

- de renforcement de la sécurité hydrique/la résilience aux sécheresses ;
- de réduction des dépenses publiques/privées sur les dommages dus aux inondations et les secours ;
- de renforcement de la sécurité alimentaire, de la production agricole, de l'emploi et des revenus des agriculteurs ; et
- de l'augmentation du débit de base des écoulements vers les cours d'eau et les terres humides pendant la saison sèche.

Pour atteindre cet objectif, il faut faire preuve de minutie dans la sélection des sites, la conception des systèmes, la planification des coûts d'installation et d'exploitation, la gouvernance locale et la connaissance des impacts environnementaux potentiels pour s'assurer que la mise en œuvre tient compte de la demande, des conditions et des contraintes locales. Une illustration en est donnée par un examen des perspectives de l'UTFI dans le bassin fluvial de Chao Phraya en Thaïlande (voir encadré 4.2).

Cette étude de cas montre que les SfN telles que l'UTFI peuvent réduire à la fois les risques liés aux inondations et ceux liés à la sécheresse, et offrir ainsi de multiples avantages. De même, il ressort clairement de ce qui précède que les avantages socioécologiques de l'UTFI deviennent plus concrets lorsqu'ils sont mis en œuvre à grande échelle, par exemple des bassins hydrographiques de milliers de km<sup>2</sup>. Afin de rassembler des données probantes qui soutiennent la mise en œuvre de l'UTFI en Inde, l'UTFI est actuellement expérimentée dans le Gange. Même si des programmes de recharge d'eau souterraine à grande échelle existent en Inde depuis des décennies, l'accent a été mis sur les zones pauvres en eau, sans attention particulière sur la gestion des risques d'inondation. Des bassins fortement exposés aux inondations comme le Gange présentent actuellement des signes évidents d'épuisement de leurs eaux souterraines (Shah, 2009). Pour soutenir l'introduction de l'UTFI en Inde, une approche en quatre étapes est en cours de mise en œuvre (Pavelic et al., 2015). Elle comprend : i) une évaluation d'opportunité qui a déjà établi que près de 70 % de la plaine du Gange a une aptitude élevée à très élevée pour l'UTFI ; ii) une *essai pilote*, initié dans le district de Rampur dans l'État d'Uttar Pradesh, qui a impliqué la rénovation des étangs villageois, l'installation de structures de recharge et la surveillance continue des impacts ; iii) l'*engagement des parties prenantes* dès le début et tout au long du projet pilote, y compris les communautés agricoles locales et les fonctionnaires des secteurs de l'irrigation et de l'agriculture, le secteur privé et les médias, pour assurer l'appropriation communautaire ; et iv) la *convergence avec la politique*, dont l'enregistrement de l'essai pilote dans le cadre du programme phare d'emploi rural Mahatma Gandhi (permettant à la communauté d'être rémunérée pour participer au projet pilote de l'UTFI) et dans le plan national Pradhan Mantri Krishi Sinchayee Yojana (qui vise à fournir à chaque exploitation agricole un accès à l'eau), ainsi que l'inclusion de l'UTFI dans le plan d'irrigation du district de Rampur. Actuellement, la mise en place

d'un ensemble plus vaste de sites de démonstration dans le bassin du Gange est en cours, afin de créer une expérience plus diversifiée et des orientations plus précises sur les modalités opérationnelles pour soutenir une plus grande généralisation de la mise en œuvre. L'approche UTFI, si elle est déployée à l'échelle d'un grand bassin comme le Chao Phraya ou le Gange, devient essentiellement une SfN de substitution aux grands barrages de surface classiques.

### 4.3 Les enjeux liés à l'amélioration du potentiel des SfN dans le contexte de la variabilité et de la réduction des risques

Il existe de nombreux défis à relever pour l'adoption et la mise en œuvre à grande échelle des SfN. Ils sont à la fois globaux et génériques, spécifiques à une région ou à un lieu, et souvent applicables aux SfN dans l'ensemble, plutôt qu'aux SfN dans le contexte de la réduction des risques et de la gestion de la variabilité. Ces défis sont entre autres :

- L'écrasante prédominance des solutions d'infrastructures grises pour les risques liés à la variabilité de l'eau dans les instruments actuels des gouvernements – de la politique publique aux codes de construction (OMM, 2007). De même, cette prédominance existe dans l'orientation des marchés économiques, l'expertise des fournisseurs de services et, par conséquent, dans l'esprit des décideurs et du grand public. Ces facteurs entraînent collectivement une inertie générale contre le développement et l'utilisation des SfN et une partialité au détriment des SfN, qui sont souvent perçues comme étant moins efficaces que les systèmes anthropogéniques/bâties. En d'autres termes, à titre d'exemple, l'image d'un mur de béton ou d'une digue qui empêche l'écoulement de l'eau domine les esprits et les pratiques actuelles. Cela conduit à un manque de mesures incitatives, de ressources financières et d'autres conditions favorables au développement et à l'application des SfN dans le contexte de la gestion de la variabilité, des risques de catastrophe et de changements liés à l'eau. En outre, parmi les facteurs qui contribuent à l'entretien de cette inertie figure le défaut de documentation, de communication et de reconnaissance des économies de coûts réalisées pour les infrastructures grises, les populations et l'économie, lorsque les SfN ont aidé à réduire des dommages dus à des phénomènes extrêmes. De plus, trop souvent, la valeur des SfN et l'augmentation des coûts des phénomènes extrêmes ne deviennent plus claires que lorsque les écosystèmes (et les services qu'ils fournissent) se sont considérablement détériorés et que les méthodes classiques s'avèrent insuffisantes.

## ÉVALUATION DU CONCEPT D'UTFI DANS LE BASSIN FLUVIAL DE PHRAYA EN THAÏLANDE

Le bassin fluvial de Chao Phraya (160 400 km<sup>2</sup>) est régulièrement sujet à des inondations majeures dans les tronçons supérieur et inférieur ainsi que des sécheresses liées au phénomène El Niño. Les ressources en eau sont fortement réparties entre les secteurs économiques, écartant ainsi toute possibilité de nouveaux réservoirs à grande échelle – les infrastructures de stockage d'eaux grises.

Une analyse des relevés de débit montre qu'en moyenne, 28 % des débits de saison humide qui se déversent dans le golfe de Thaïlande (3,37 milliards de m<sup>3</sup> par an) pourraient être récoltés par coupe de la pointe sans avoir un impact significatif sur l'utilisation de l'eau des réservoirs de stockage existants de grande capacité ou de capacité moyenne, ni sur l'écosystème fluvial ou côtier. Des essais sur le terrain avec des bassins de recharge spécialement construits ont révélé que cette eau pouvait être facilement rechargée et logée dans les vastes aquifères alluviaux peu profonds des plaines centrales, situées en amont des principales zones sujettes aux inondations. Cela permettrait également de compenser la baisse des niveaux d'eau souterraine dans les plaines agricoles en raison du pompage effectué tout au long de l'année pour irriguer les cultures à forte demande d'eau. La capture des débits de pointe se ferait surtout au cours des années plus humides et nécessiterait la conversion d'environ 200 km<sup>2</sup> de terres pour la recharge des eaux souterraines – soit environ 0,1 % de la superficie du bassin. Cela permettrait non seulement de réduire l'ampleur des inondations et les coûts associés, mais générerait également environ 200 millions de dollars américains de revenus agricoles par an pour accroître les moyens de subsistance de milliers de ménages agricoles grâce à l'apport d'eau supplémentaire pendant les périodes de sécheresse. On pourrait avoir un retour sur les investissements en capital au bout de dix ans voire moins. Mais pour que le système fonctionne avec succès, une bonne gouvernance est nécessaire. Par exemple, les agriculteurs devraient être encouragés à utiliser leurs terres pour la recharge et devenir par conséquent des « intendants » qui gèrent l'infrastructure au bénéfice des communautés en aval. Les gestionnaires des ressources en eau et les autorités chargées de la protection contre les inondations devront assurer la coordination globale, le renforcement des capacités et fournir des incitations pour une adoption effective par les agriculteurs. La réalisation de cette étude dans le Chao Phraya nécessiterait des investigations détaillées pour déterminer les zones où les conditions environnementales sont propices à la recharge des aquifères, ainsi que des analyses pour identifier les mécanismes institutionnels pratiques (Pavelic et al., 2012).

Figure | Entretien d'un étang créé dans le cadre de l'UTFI



Photo : Prashanth Vishwanathan/IWMI.

- Il manque de sensibilisation, de communication et de connaissance de ce que les SfN peuvent réellement offrir pour réduire les risques de variabilité de l'eau par rapport aux solutions grises « classiques » à tous les niveaux, des communautés aux agents de planification régionaux et aux décideurs politiques nationaux (OMM, 2006). Cela est également dû en partie au niveau insuffisant de recherche et développement dans les SfN liées à la réduction du risque de catastrophe, notamment en termes d'analyses coûts-avantages des performances des SfN en comparaison ou en association avec les solutions grises.
- Il y a un manque de compréhension de la façon d'intégrer les infrastructures naturelles et bâties pour atténuer les risques d'inondations, les sécheresses et la variabilité de l'eau en général, et un manque général de capacité sur la manière de mettre en œuvre les SfN dans le contexte de la réduction des risques liés à l'eau, même dans les cas où il existe une volonté de mettre en œuvre les SfN. Par exemple, les SfN d'envergure mises en œuvre à l'échelle du bassin comme l'UTFI, qui est décrit ci-dessus, n'ont pas atteint le stade où elles peuvent être documentées dans des manuels et sont encore dans une phase pilote. Il s'agit là d'une situation caractéristique des technologies nouvelles/émergentes, si tant est que les SfN puissent être considérées comme une technologie. Aussi, il se produit une démotivation lorsqu'une SfN mal conçue échoue, ce qui contribue à renforcer la partialité au détriment des SfN comme cela a été mentionné ci-dessus.
- Il existe des mythes et incertitudes sur le fonctionnement des infrastructures naturelles (par exemple en ce qui concerne les forêts, les zones humides et les aquifères), ce que les services écosystémiques signifient en termes pratiques (et en particulier comment les services de régulation de débit – le service écosystémique le plus pertinent dans le contexte de la gestion des risques et de la variabilité – se manifestent eux-mêmes). Ce qui précède se traduit par un manque de connaissances quantitatives sur les impacts positifs pouvant être obtenus – la réduction des pics de crue ou de la sévérité de la sécheresse, par exemple.
- Des difficultés dans la fourniture d'évaluations claires de l'exécution des projets liés aux SfN dans le contexte de la réduction des risques. De même, il arrive souvent qu'on ne sache pas clairement qu'est-ce qui constitue une SfN et qu'est-ce qu'une solution hybride. Il manque de directives techniques, d'outils et d'approches pour déterminer la bonne combinaison de SfN et d'options d'infrastructures grises.
- L'utilisation des terres pour les SfN peut créer des tensions et probablement des conflits avec d'autres utilisations des terres. Cependant, pour être juste, il convient de relever que les infrastructures grises sont souvent directement consommatrices de terres ou ont des impacts négatifs indirects sur les terres. Dans le même temps, certains réseaux nationaux de référence (par exemple, l'UTFI) n'ont besoin que d'une petite partie d'une zone de bassin hydrographique pour réaliser l'effet de la réduction des impacts des inondations et des sécheresses à l'échelle du bassin.
- Un défi plus implicite, mais réel qui se pose est la prédominance d'une approche réactive plutôt que proactive de la gestion des catastrophes liées à l'eau. Une approche réactive traite en effet des conséquences des catastrophes et, dans ce contexte, l'utilisation des SfN est limitée. Les SfN peuvent avoir un potentiel beaucoup plus important si elles sont « activées » dans la planification et la mise en œuvre des mesures de réduction des risques – avant que la catastrophe ne se produise.





5

# EXPÉRIENCES NATIONALES ET RÉGIONALES RELATIVES À LA MISE EN ŒUVRE



Des ponts en bois au-dessus du parc de la zone humide de Wuyuanwan à Xiamen (China)



WWAP | Richard Connor et David Coates

**Avec les contributions de**<sup>12</sup> : Andrei Jouravlev (CEPALC) ; Aida Karazhanova et Stefanos Fotiou (CESAP) ; Simone Grego (Bureau régional multisectoriel de l'UNESCO à Abuja) ; Carol Chouchani Cherfane et Dima Kharbotli (CESAO) ; Chris Zevenbergen (IHE Delft) ; Rebecca Welling (UICN) ; Chris Spray (Université de Dundee, Centre sur la législation, les politiques et les sciences relatives à l'eau sous l'égide de l'UNESCO) ; Tamara Avellán (UNU- FLORES)<sup>13</sup> ; Dragana Milovanović (ISRBC) ; Franco A. Montalto (Drexel University) ; Anne Schulte-Wülwer-Leidig (CIPR) ; Marta Echavarría (EcoDecision) ; Shreya Kumra (CESAP) ; et Pablo Lloret (EPMAPS)

## 5.1 Introduction

Alors que les précédents chapitres analysent les possibilités de la mise en œuvre des SfN dans le contexte des trois objectifs critiques de gestion de l'eau à savoir l'amélioration de la disponibilité de l'eau, amélioration de la qualité de l'eau et réduction des risques de catastrophe, le présent chapitre adopte une vision plus large d'évaluation des aspects pertinents de la mise en œuvre des SfN des multiples avantages et avantages partagés liés à l'eau dans différents pays et régions, en mettant en valeur les bons exemples et les enseignements tirés.

Plusieurs régions (et sous-régions) peuvent faire face à des défis similaires ou différents liés à l'eau à des degrés variés, qui naissent de la combinaison des conditions hydrologiques physiques et des conditions relatives la gestion globale des ressources en eau, notamment la gouvernance, les capacités, l'économie et la finance. Certes, ces défis aboutissent à une combinaison différente – et un niveau de mise en œuvre – des SfN, mais certaines similitudes peuvent se distinguer et par conséquent, les enseignements tirés dans un pays ou une région peuvent permettre d'éclairer la mise en œuvre des SfN dans un autre.

<sup>12</sup> Les auteurs du chapitre souhaiteraient exprimer leur gratitude à Sonja Koeppel, Alexander Belokurov et Annukka Lipponen de la CEE pour leur contribution.

<sup>13</sup> Les avis qui sont exprimés dans ce chapitre n'engagent que le(s) auteur(s) et n'impliquent de la part de l'Université des Nations Unies aucune appréciation favorable ou défavorable.

Une gestion améliorée des terres peut être considérée comme comportant un ensemble de SfN susceptibles d'améliorer la sécurité hydrique sur un plan collectif

## 5.2 Mise en œuvre des SfN à l'échelle du bassin

### 5.2.1 Gestion des bassins hydrographiques

Comme décrit dans la section 1.3, les caractéristiques biologiques et géophysiques d'un bassin hydrographique ont un impact direct sur la quantité et la qualité de l'eau qui s'écoule en aval dans le temps et dans l'espace. Tout changement important de ces caractéristiques (c'est-à-dire de l'UTCAT) peut modifier ces caractéristiques hydrologiques. Par conséquent, une gestion améliorée des terres peut être considérée comme comportant un ensemble de SfN susceptibles d'améliorer la sécurité hydrique sur un plan collectif. Les exemples de ces pratiques existent dans toutes les régions.

En Arabie saoudite, la pratique du *hima* remonte à 1 500 ans comme étant une approche organisée visant à protéger les ressources en terres et en eau. Dans le cadre de cette approche, les parties prenantes contrôlent ensemble l'utilisation des pâturages et sont responsables de la préservation des terres, des stocks de semences et des ressources en eau. La fragilisation des structures tribales, couplée aux changements intervenus dans l'utilisation des terres au sein des régions, ont entraîné l'abandon progressif de l'approche de gestion *hima* au fil du temps. Toutefois, des initiatives sont prises pour renouer avec l'*hima* comme système de gestion visant à soutenir la préservation des terres et des ressources naturelles (AEDSAW, 2002). Des initiatives semblables visant à renouer avec ces pratiques anciennes de gestion des terres et des connaissances traditionnelles/culturelles qui les accompagnent sont également en cours dans d'autres pays de la région arabe, y compris la Jordanie (voir encadré 5.1).

La restauration et la protection des bassins hydrographiques deviennent de plus en plus importantes dans un contexte d'approvisionnement durable en eau des villes qui connaissent une croissance rapide. De nombreux bassins hydrographiques sont de plus en plus touchés par la déforestation, les changements relatifs à l'exploitation

### ENCADRÉ 5.1

#### RESTAURATION DES SYSTÈMES HIMA EN JORDANIE

Un projet visant à renouer avec les pratiques traditionnelles *hima* de gestion des terres a été mis en œuvre dans le bassin du fleuve Zarqa, berceau de la moitié de la population jordanienne. La gestion inappropriée

des terres et des ressources et le développement non durable ont entraîné la dégradation des terres et la surexploitation des ressources en eaux souterraines. Habituellement, les pratiques *hima* de gestion des terres sont suivies. Elles consistent essentiellement à ne pas cultiver la terre afin de lui permettre de se régénérer naturellement. Parallèlement, cette non-culture de la terre diminue la contrainte sur les ressources en eaux souterraines du point de vue de la qualité et de la quantité d'eau. Toutefois, en raison de l'accroissement démographique et de la démarcation des frontières interétatiques qui sont une entrave à la mobilité, la pratique cède la place à une agriculture intensive ininterrompue.

Les recherches montrent également que le passage de l'*hima* à ces pratiques de gestion des terres non durables est davantage exacerbé par les changements dans le régime foncier de la propriété foncière tribale à la propriété privée et l'octroi de subventions gouvernementales en faveur des cultures en saison sèche. Dans le cadre du projet visant à renouer avec les pratiques *hima* de gestion des terres, des efforts sont déployés en vue de rendre autonomes les communautés locales en leur transférant des droits de gestion. Les résultats démontrent également une hausse de la croissance économique (par exemple grâce à la culture des espèces végétales locales ayant une valeur économique) et la préservation des ressources naturelles dans le bassin du fleuve Zarqa.

Des partenariats entre le gouvernement et les communautés sont également établis dans le cadre de la mise en œuvre du projet. Des ateliers de renforcement de capacités sont organisés afin d'échanger les informations sur les enseignements tirés et les défis à relever. Il en est de même pour les campagnes de sensibilisation visant à faire connaître les enjeux. Sur la base des succès obtenus via cette initiative, la Stratégie nationale de gestion des pâturages de la Jordanie (Ministère de l'agriculture de la Jordanie, 2014) a intégré l'approche *hima* comme étant un moyen efficace permettant d'aborder la gouvernance des pâturages nationaux.

Sources : Cohen-Shacham et al. (2016) et Ministère de l'agriculture de la Jordanie (2014).

Contribution de Carol Chouchani Cherfane (CESAO).

des terres, l'agriculture intensive, l'exploitation minière, l'accroissement démographique et les changements climatiques. La dégradation de ces bassins a des impacts négatifs sur l'approvisionnement en eau, en particulier pour les populations urbaines, du fait de la diminution de la disponibilité de l'eau au moins pendant certaines saisons. Cette dégradation aggrave les inondations urbaines pendant d'autres saisons, détériore la qualité de l'eau et par conséquent augmente les coûts du traitement et de l'approvisionnement en eau dans les villes.

La situation dans le bassin d'Upper Tana au Kenya qui fournit 95 % de l'eau potable à la ville de Nairobi et 50 % de l'énergie hydroélectrique au Kenya, est un exemple de l'impact de la dégradation des bassins hydrographiques (voir encadrés 2.5 et 5.4). En effet, au cours des 45 dernières années, des champs agricoles ont remplacé une partie des forêts de ce bassin. De même, la demande en eau pour soutenir la production horticole n'a cessé d'augmenter. L'empiètement sur les zones humides naturelles qui par le passé stockaient les eaux de ruissellement et rechargeaient les aquifères a conduit à la diminution des débits pendant la saison sèche. L'expansion agricole ainsi que l'érosion des sols et les glissements de terrain ont augmenté les sédiments dans les cours d'eau locaux. Ces facteurs diminuent l'apport en eau pendant les périodes sèches et augmentent les sédiments dans les cours d'eau. La résilience du système visant à faire face aux sécheresses a diminué et la perturbation des équipements du fait des ruissellements chargés de sédiments pendant la saison des pluies augmente les coûts de traitement de l'eau de plus de 33 % dans certains cas (Hunink et Droogers, 2011 ; TNC, 2015).

Cette situation explique l'intérêt croissant des autorités du secteur de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau, des collectivités locales et des sociétés d'eau dans l'application des SfN, en particulier la gestion des bassins hydrographiques, pour la protection des sources d'approvisionnement en eau urbaines, surtout en ce qui concerne la qualité de l'eau (principalement la pollution de source non ponctuelle par les engrais, les herbicides et insecticides provenant de l'agriculture intensive, des bactéries et des nutriments provenant de l'élevage et des sédiments issus de la déforestation). Une attention accrue portée à la gestion des bassins hydrographiques – en particulier, la protection des terres, le reboisement et la restauration des zones riveraines – permet de diminuer les coûts d'exploitation et d'entretien des sociétés des eaux urbaines, d'améliorer la qualité des services et de retarder la nécessité d'un investissement coûteux en capital dans l'expansion des capacités (Echavarria et al., 2015). La gestion des bassins hydrographiques est considérée non seulement comme un complément moins onéreux pour la construction ou à l'ingénierie « civile », mais aussi comme un moyen pour générer d'autres avantages importants, à l'instar du développement économique local, de la création d'emplois, de la protection de la biodiversité et de la résilience climatique (LACC/CNC, 2015).

Les systèmes des PSE offrent des mesures incitatives (de l'argent comptant ou autres) aux propriétaires terriens ou aux agriculteurs en contrepartie des pratiques durables d'utilisation des terres (agriculture, sylviculture, etc.)

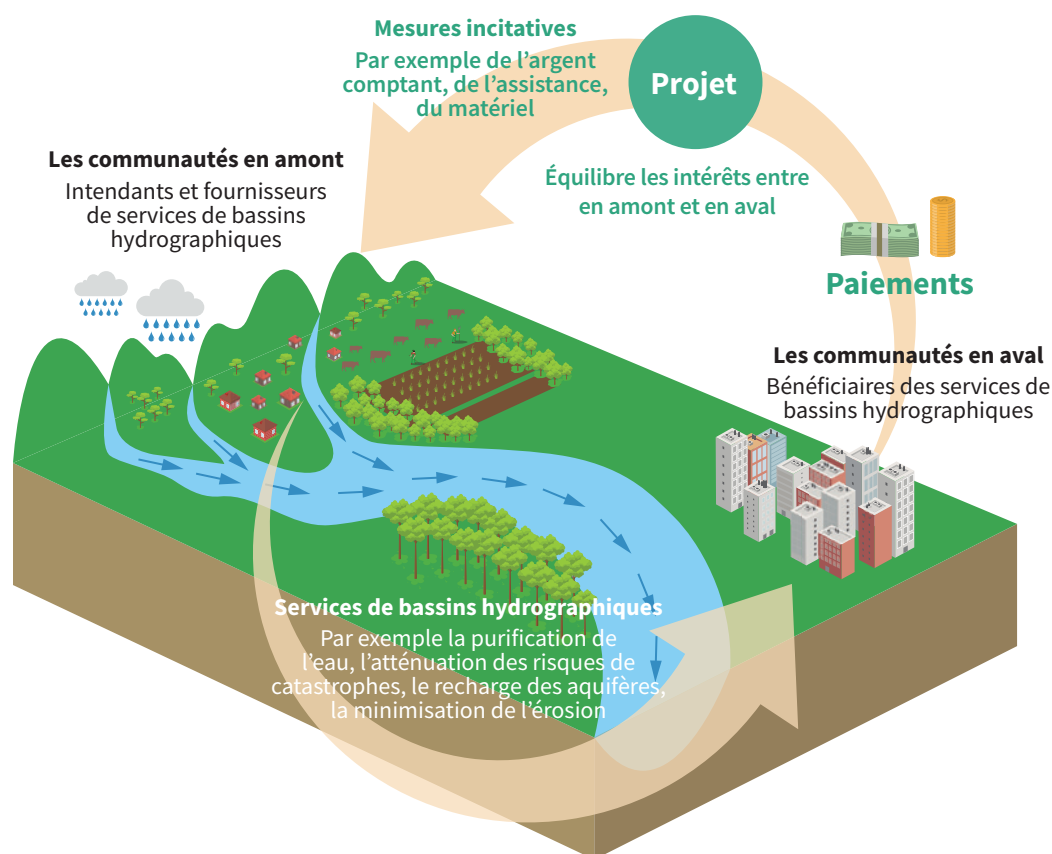
### 5.2.2 Paiements des services écosystémiques

Le cas de l'entretien du réseau d'approvisionnement en eau de la ville de New York, commencé en 1997, est l'un des exemples les mieux connus et documentés de mise en œuvre des SfN visant à protéger les bassins hydrographiques. Ce fut également l'un des premiers systèmes reconnus et réussis de PSE). Actuellement, les trois bassins hydrographiques protégés approvisionnent la ville de New York avec la plus grande source d'eau non filtrée des États-Unis, et permet à la ville de faire des économies annuelles de l'ordre de 300 millions de dollars américains sur les coûts d'entretien et de traitement des eaux. Le programme sert également d'alternative à la construction d'une usine de traitement des eaux qui aurait coûté entre 8 milliards et 10 milliards de dollars américains (Abell et al., 2017).

Les systèmes des PSE offrent des mesures incitatives (de l'argent comptant ou autres) aux propriétaires terriens ou aux agriculteurs en contrepartie des pratiques durables d'utilisation des terres (agriculture, sylviculture, etc.). L'objectif visé étant que ceux qui bénéficient (par exemple une société des eaux) des services écosystémiques (par exemple une meilleure qualité d'eau dans une rivière) paient pour leur fourniture (par exemple pour une meilleure gestion de l'utilisation des pesticides et des engrais ou la préservation du couvert végétal) à ceux, généralement situés en amont, qui peuvent les approvisionner (par exemple les agriculteurs ou les propriétaires terriens), afin de garantir leur production continue (voir figure 5.1).

La région d'Amérique latine et des Caraïbes (ALC) possède une riche expérience en matière de mise en œuvre des systèmes de PSE des bassins hydrographiques – également connus sous le nom d'« investissement dans les systèmes des services de bassins hydrographiques » (Bennett et al., 2013). En 2013, l'Association des entités régulateurs de

Figure 5.1 Un projet type des PSE de bassin hydrographique



Source : Adapté de Bennett et al. (2013, fig. 7, p. 1).

l'eau potable et d'assainissement des Amériques (ADERASA) crée un groupe de travail consacré spécifiquement aux infrastructures vertes (Herrera Amighetti, 2015). Sa mission consiste à systématiser et d'analyser les expériences des pays d'Amérique latine en matière d'investissement dans les infrastructures vertes en tant que moyen d'amélioration de la disponibilité et de prévention de la détérioration de la qualité de l'eau. Ces investissements peuvent prendre diverses formes institutionnelles, mais en général, ils sont mis en œuvre en qualité de PSE. Cet intérêt pour les PSE s'explique en grande partie par le fait que les gouvernements de la région ALC, comme ailleurs, disposent souvent des capacités de contrôle, de surveillance et d'application limitées et faibles (Stanton et al., 2010 ; Embid et Martin, 2015) – surtout en matière de gestion des ressources en eau, d'utilisation des terres, de lutte contre la pollution et d'élimination des déchets solides - notamment en dehors des plus grandes villes. De même, dans les pays où les services d'assainissement et d'approvisionnement en eau sont transférés au niveau municipal, il n'est pas rare que les sources en eau d'une municipalité soient situées dans la juridiction d'une autre, ce qui complique davantage la protection des sources d'eau (Jouravlev, 2003).

Des exemples de réussite des systèmes de PSE sont également documentés dans d'autres régions du monde, notamment en Asie et au Pacifique (voir encadré 5.2) et en Afrique (voir encadré 5.3). Dans le seul bassin du fleuve Mékong, des systèmes de PSE ayant des composants de

protection des bassins hydrographiques sont documentés au Cambodge, au Laos, en Thaïlande et au Vietnam, même si le Vietnam reste le seul pays d'Asie du Sud-Est à disposer un plan national officiel des PSE (Tacconi, 2015). La Banque asiatique de développement (BAD) estime que, pour le moins, 59 milliards de dollars américains d'investissements pour l'approvisionnement en eau et 71 milliards de dollars américains pour améliorer l'assainissement sont nécessaires à la satisfaction des besoins de base dans la région. En outre, on estime que jusqu'à 70 voire 90 % des eaux usées domestiques et industrielles sont déversées sans traitement préalable (BAD, 2013), d'où une plus importante dégradation de l'écosystème. Consacrer une partie de cet investissement nécessaire à la protection des bassins hydrographiques et autres SfN pertinentes est davantage reconnu comme étant une solution appropriée pour relever ces défis.

Les systèmes des PSE sont souvent mis en œuvre grâce aux fonds pour l'eau et pour la conservation, financés par les subventions gouvernementales et les contributions versées par les grands utilisateurs d'eau (tels que les sociétés d'eaux urbaines, les centrales hydroélectriques et les entreprises d'eaux embouteillées ou de boissons gazeuses) installés en aval du bassin fluvial, pour soutenir les activités de gestion des bassins hydrographiques dans les zones de haute et moyenne altitude du bassin (Calvache et al., 2012 ; Jouravlev, 2003). Dans de nombreux cas, il s'agit essentiellement de partenariats public-privé.

## EXPÉRIENCE AVEC LES PSE DANS LA RÉGION ASIE-PACIFIQUE

Les déficits financiers et autres défis à relever relatifs à la protection des bassins hydrographiques sont abordés au Vietnam à travers un cadre de politique pilote de 2008 sur les paiements des services écosystémiques forestiers (PFES Forest, Décision 380) qui met l'accent sur l'approvisionnement en eau et la préservation du paysage à des fins touristiques grâce aux contrats locaux. En 2009, les recettes locales collectées auprès des acheteurs de services, principalement des sociétés de distribution d'eau et d'énergie hydraulique, se chiffraient à environ 4 millions de dollars américains. Grâce à cette politique déterminante active, les utilisateurs de l'eau, les exploitants et les services publics ont ensemble versé 54 millions de dollars américains aux communautés forestières pour les services de bassin hydrographique qu'elles ont fournis en 2013 (To et al., 2012).

*Contribution de Aida Karazhanova et Stefanos Fotiou (CESAP).*

## SYSTÈME DES PSE AU LAC NAIVASHA, KENYA

Le lac Naivasha au Kenya est reconnu comme une « zone humide d'importance internationale » dans le cadre de la Convention de Ramsar sur les zones humides. L'agriculture à petite échelle et l'horticulture commerciale intensive, y compris la culture des fleurs, présentent de mauvaises pratiques d'utilisation des terres dans le bassin hydrographique, d'où la dégradation des services écosystémiques, les pertes économiques, la pauvreté qui devient pire et une diminution de la biodiversité.

Un système des PSE centré sur l'eau a réuni des partenaires comprenant des « vendeurs/fournisseurs » de services écosystémiques (majoritairement de petits agriculteurs situés en amont) et des « acheteurs/utilisateurs » (notamment la principale industrie horticole autour du lac) ainsi que les principales agences nationales et locales impliquées dans la régulation de ces services à travers des accords contractuels négociés entre les gestionnaires des écosystèmes et les bénéficiaires.

Des activités de sensibilisation et d'intenses informations sont menées à des niveaux très localisés (par exemple des ateliers et des séminaires, au sein et en dehors de l'exploitation) en vue d'améliorer la compréhension et l'adhésion de la communauté et de toutes les parties prenantes.

Les innovations apportées aux pratiques de gestion des terres visant à améliorer la qualité et la quantité de l'eau en aval comprenaient :

- la réhabilitation et l'entretien des zones riveraines ;
- la formation des bandes gazonnées/terrasses afin de réduire le ruissellement et l'érosion sur les pentes escarpées ;
- la faible utilisation d'engrais et de pesticides ; et
- l'agroforesterie et la plantation d'arbres indigènes et d'arbres fruitiers à haut rendement et des cultures de couverture pour améliorer la productivité des exploitations, réduire le ruissellement/l'érosion et accroître la biodiversité.

Le projet comprend également une formation en faveur des agriculteurs par le Ministère de l'agriculture et l'Autorité de développement des cultures horticoles sur des questions telles que les techniques de conservation des sols et de l'eau afin d'accroître la productivité agricole, d'améliorer les techniques de stockage du fourrage et l'utilisation de variétés de cultures plus productives/à haute valeur.

L'utilisation des mesures d'incitation économiques à la fois pour les acheteurs et pour les vendeurs de services écosystémiques permet de réaliser des améliorations significatives sur la gestion des terres et de l'eau, tout en offrant des avantages palpables en termes de moyens de subsistance.

*Source : Chiramba et al. (2011).*

Pour plus d'informations, voir : [www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE\\_RESOURCES/Case\\_Studies/Africa/Kenya-Shared-risks-and-opportunities-in-water-resources-Seeking-a-sustainable-future-for-Lake-Naivasha/](http://www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE_RESOURCES/Case_Studies/Africa/Kenya-Shared-risks-and-opportunities-in-water-resources-Seeking-a-sustainable-future-for-Lake-Naivasha/)

”  
Dans le secteur de l’approvisionnement en eau potable et de l’assainissement dans l’ensemble, les SfN semblent être très sous-financées par rapport aux infrastructures grises

Les fonds pour l’eau sont utilisés pour apporter des incitations monétaires et non monétaires aux communautés, aux agriculteurs et aux propriétaires privés de terrains situés en amont (voir encadré 5.4) afin de protéger, restaurer et conserver les écosystèmes naturels (forêts, zones humides, etc.) qui procurent des avantages aux utilisateurs d’eau situés en aval sous la forme de régulation de l’eau, de lutte contre les inondations, les érosions et les sédiments, entre autres, et assurent par conséquent un approvisionnement en eau constant et de haute qualité et contribuent à réduire les coûts de traitement et d’entretien des équipements (voir encadré 5.5). Les fonds sont généralement régis par un contrat entre les membres fondateurs, qui désignent une institution indépendante pour gérer les ressources financières et veiller à ce qu’elles soient dépensées pour les activités de protection des bassins hydrographiques conformément aux objectifs visés par le fonds (Stanton et al., 2010). Il existe déjà plus de 20 de ces fonds pour l’eau en cours d’utilisation dans la seule région d’ALC (Echavarria et al., 2015).

Selon « Ecosystem Marketplace », publié par Forest Trends (Bennett et Ruef, 2016), en 2015 les gouvernements, les sociétés d’eau, les entreprises et les collectivités ont dépensé environ 25 milliards de dollars américains de paiement pour les infrastructures vertes pour l’eau, affectant positivement 487 millions d’hectares de terres. Les transactions ont connu une hausse annuelle d’environ 12 % entre 2013 et 2015, ce qui suggère une augmentation rapide du taux d’utilisation. Le financement de la grande majorité de ces systèmes des PSE (23,7 milliards de dollars américains) provient des gouvernements nationaux (voir figure 5.2) et, en Europe, de la Commission européenne. Une grande partie de l’investissement qui reste à réaliser (environ 650 millions de dollars américains) a été classée comme « investissements dans les bassins hydrographiques guidés par l’utilisateur », où les villes, les entreprises ou les sociétés de distribution d’eau agissant pour le compte de leurs clients rémunéraient les propriétaires terriens pour la gestion des paysages indispensables au maintien des ressources en eau (Bennett et Ruef, 2016).

Dans le secteur de l’approvisionnement en eau potable et de l’assainissement dans l’ensemble, les SfN semblent être très sous-financées par rapport aux infrastructures grises. Dans les pays de la région ALC, les sociétés de distribution d’eau investissent moins de 5 % de leurs budgets dans les infrastructures vertes (à l’exception possible de certaines villes du Pérou), même si ces allocations semblent connaître une hausse (Echavarria et al., 2015 ; Bennett et Ruef, 2016). En Angleterre, les activités de gestion des bassins hydrographiques représentent en général moins de 1 % des dépenses des sociétés de distribution d’eau. Un récent rapport estime que 100 milliards de livres sterling seront dépensées dans les points de captage d’eau en Angleterre entre 2015 et 2030 « pour apporter des solutions aux problèmes tels que la fourniture ininterrompue des services d’eau et des eaux usées, de la qualité de l’eau, de l’agriculture et de la protection contre les inondations ». De ce montant, « plus de 30 milliards de livres sterling seront dépensées en Angleterre pour répondre aux exigences de la directive-cadre européenne sur l’eau (DCE) et pour maintenir les normes actuelles de traitement de l’eau et des eaux usées ». De ces 30 milliards de livres sterling pour la DCE, le rapport estime que « l’adoption, par le secteur de l’eau, des approches de captages plus vastes peut permettre de diminuer les coûts de l’ordre de 300 millions à 1 milliard de livres sterling » (Indepen, 2014, p. 1). La prise en compte des avantages partagés plus importants pour la biodiversité, la réduction des risques d’inondation et la gestion du carbone, éléments qui ne figurent pas dans le rapport, renforcent davantage les arguments financiers en faveur de la gestion des bassins hydrographiques.

Les cas du Royaume-Uni et des pays de la région ALC suggèrent que les villes, les entreprises et les sociétés de distribution d’eau peuvent davantage investir dans les SfN. Des preuves existent de plus en plus pour montrer que ces investissements sont moins onéreux et rentables, tout en générant des avantages partagés tels que la conservation de la biodiversité, les avantages communautaires, l’adaptation aux changements climatiques, les emplois et la formation. De toute évidence, il y aura généralement un seuil au-delà duquel les dépenses supplémentaires consacrées à la gestion des bassins hydrographiques ainsi que les SfN vont cesser de fournir des retours sur investissement adéquats, même si les avantages partagés des infrastructures vertes sont inclus. Cependant, la même affirmation peut être valable pour les infrastructures grises. Par voie de conséquence, l’identification de ces seuils et la combinaison optimale des approches vertes-grises nécessitent un cadre analytique commun (c’est-à-dire des indicateurs de performance communs) pour évaluer les coûts-avantages des infrastructures grises et vertes en termes de gestion pertinente de l’eau et d’autres objectifs en question.

La conception et la mise en œuvre des PSE pour les systèmes de gestion des bassins hydrographiques nécessitent d’établir clairement les relations de cause à effet entre les pratiques d’utilisation des terres et de l’eau en amont et de fournir des services des bassins

## LE FONDS POUR L'EAU D'UPPER TANA-NAIROBI

Le Fonds pour l'eau d'Upper Tana-Nairobi sont lancés en mars 2015 pour permettre aux résidents du bassin de disposer des moyens pour atténuer les menaces liées à la dégradation du bassin hydrographique. Par ailleurs, ce fonds vise à sécuriser l'approvisionnement en eau de Nairobi tout en augmentant les moyens de subsistance agricoles, en maintenant le débit de saison sèche dans certains bassins hydrographiques et par conséquent contribuer à la résilience face aux sécheresses.

Ce fonds relève d'un partenariat public-privé et, au cours des quatre premières années de son développement, ils ont été à mesure de mobiliser 4 millions de dollars américains grâce aux contributions volontaires. Il existe d'importants bailleurs de fonds multilatéraux, notamment le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), qui s'est fixé pour objectif d'apporter 7 millions de dollars américains au cours de la période de validité du fonds. Le fonds rassemble plusieurs parties prenantes, telles que le gouvernement du comté, l'autorité responsable des ressources en eau, les services forestiers, le conseil régional des gouverneurs, la société des eaux de Nairobi et les acteurs du secteur privé.

Le Fonds pour l'eau se sert des mécanismes de compensation en nature pour encourager les agriculteurs à adopter les meilleures pratiques de gestion agricole, à restaurer les tampons riverains, à installer une irrigation efficace et à reboiser. Ces packages de compensation en nature comprennent des bassins d'eau, le renforcement des capacités et la formation portant sur la production agricole, les semences, les équipements et du bétail tels que les chèvres laitières. Le fonds pour l'eau met également l'accent sur la réduction des sédiments qui proviennent des routes rurales non revêtues. À ce jour, le fonds pour l'eau a travaillé avec plus de 15 000 agriculteurs en collaboration avec des partenaires locaux, notamment le Green Belt Movement et la Kenya National Farmers Federation (Abell et al., 2017).

L'étude de viabilité du Fonds pour l'eau montre qu'un investissement de 10 millions de dollars américains consacré aux interventions de conservation orientées par le Fonds pour l'eau rapporte environ 21,5 millions de dollars américains en termes d'avantages économiques sur une durée de 30 ans, grâce à la hausse en production d'énergie électrique, aux rendements des cultures agricoles des petits exploitants et des grands producteurs et aux économies réalisées dans le traitement de l'eau et des eaux usées (TNC, 2015).

Figure | Localisation du projet du Fonds pour l'eau d'Upper Tana-Nairobi

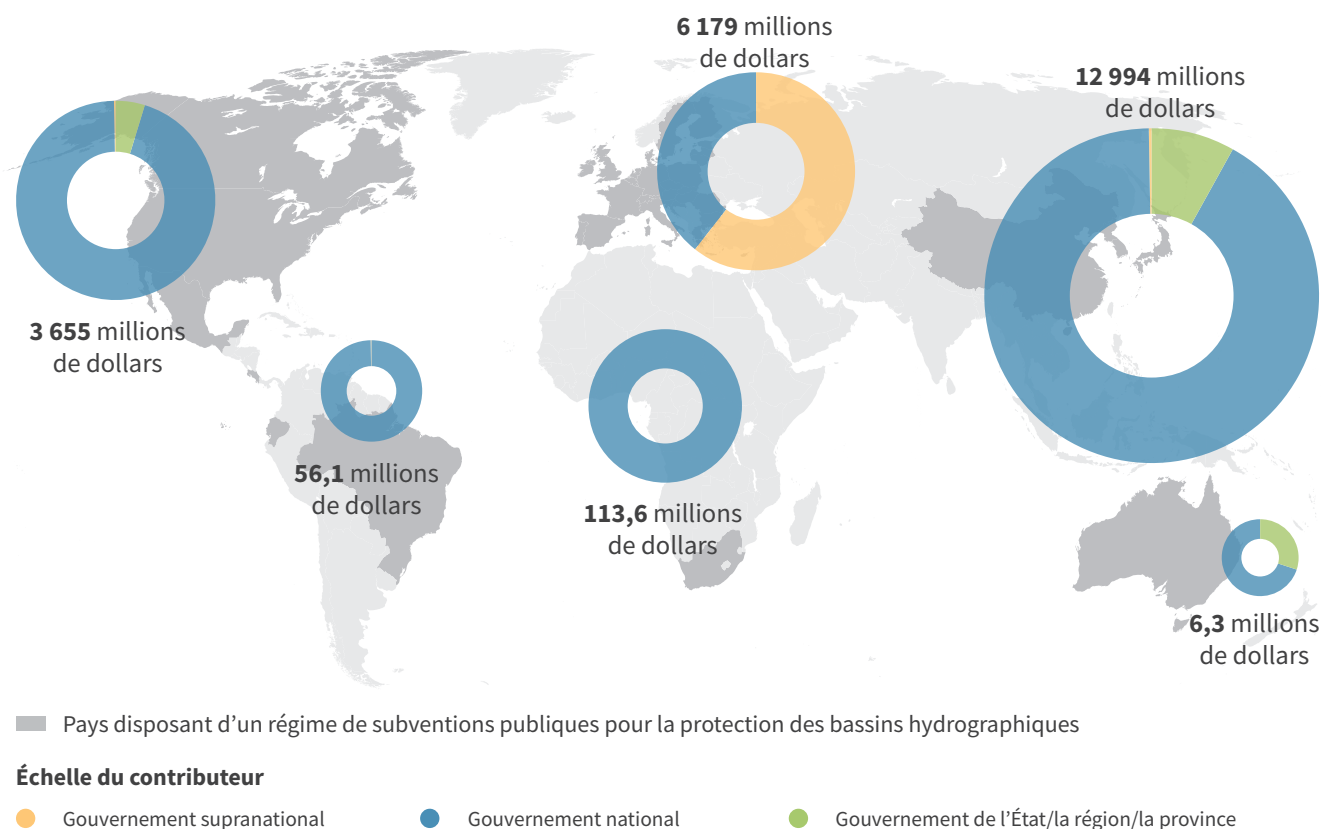


Source : TNC.

Contribution de Simone Grego (Bureau régional multisectoriel de l'UNESCO à Abuja) et Rebecca Welling (IUCN).



**Figure 5.2** Subventions publiques destinées à la protection des bassins hydrographiques en 2015 : Les pays ayant des programmes de subventions publiques et la part de chaque contributeur par région



Remarque : Sur la base de 23 milliards de dollars américains de transactions en 2015. Pour une autre enveloppe de 727 millions de dollars américains de subventions publiques en 2015, il n'a pas été possible de déterminer les contributions respectives des gouvernements nationaux et infranationaux.

Source : Bennett et Ruef (2016, carte 2, p. 14).

hydrographiques aux utilisateurs en aval, d'identifier et d'organiser les acteurs qui contrôlent effectivement ces pratiques, et de parvenir à un accord durable dans le cadre d'un marché et des conditions sociopolitiques en permanente mutation. La question de savoir si et dans quelle mesure il convient de récompenser le respect de la loi et des bonnes pratiques reste toujours d'actualité.

La solution à cette préoccupation nécessite un cadre conceptuel commun d'appréciation de la valeur et des avantages des investissements relatifs aux infrastructures vertes et grises, ce qui peut être difficile, surtout pour les sociétés de distribution d'eau et les prestataires de services – notamment dans les petites et moyennes villes – qui ne recouvrent pas toujours entièrement les coûts de prestation de services et par conséquent dépendent des budgets gouvernementaux pour les investissements et, dans certains cas, même pour l'exploitation et l'entretien. Une expérience limitée et une connaissance des SfN (et leur viabilité à long terme), couplées à la préférence accordée à la construction ou à « l'ingénierie civile » par de nombreux ingénieurs et hommes politiques, constituent un défi supplémentaire. En raison des capacités de contrôle, de surveillance et d'application extrêmement limitées de gestion des ressources en eau et du contrôle de l'utilisation des terres, il n'est pas surprenant que les dépenses des sociétés de distribution d'eau pour les activités des bassins

hydrographiques soient toujours faibles – lorsqu'elles n'existent même pas. Par conséquent, l'acceptation, le soutien et la participation aux systèmes des SfN et des PSE par un plus large éventail d'acteurs restent impératifs, mais toujours insuffisants. Les propriétaires terriens, par exemple, exigent des assurances d'un appui financier à long terme. Un solide soutien juridique pour évaluer, intégrer et mettre en œuvre les SfN à travers plusieurs objectifs de politique (agriculture, changement climatique, énergie verte, etc.) peut également être très important (exemple, encadré 5.6).

En matière d'investissements étrangers, les institutions financières et les entreprises jouent un rôle important et influent relatif à l'appui et au financement des systèmes des SfN et des PSE. Les entités engagées dans les investissements étrangers ont non seulement la responsabilité de respecter les lois, les réglementations et les normes environnementales des pays hôtes, mais aussi elles doivent respecter les principes des Nations Unies sur l'investissement responsable, qui intègrent l'entière prise en compte des facteurs environnementaux, sociaux et de gouvernance (PRI, 2006). L'Initiative de gestion des risques environnementaux de l'Overseas Management Initiative de la Chine, qui soutient également le financement des échanges « verts » tout au long de la chaîne d'approvisionnement, renforce ces principes en

## LE FONDS DE PROTECTION DES BASSINS VERSANTS DE QUITO

Le Fonds de protection des bassins versants de Quito (Fondo para la Conservación del Agua – FONAG) en Équateur est le premier et peut-être l'un des fonds pour l'eau les plus performants de la région ALC. Les bassins hydrographiques qui alimentent en eau la capitale Quito sont menacés par des pratiques agricoles, pastorales et forestières inadéquates. En guise de réponse à cette menace, la municipalité de Quito, à travers sa société de distribution d'eau (EPMAPS) et avec la coopération de The Nature Conservancy (TNC), crée le FONAG en 2000 (Lloret, 2009). Le FONAG est un fonds fiduciaire conçu pour fonctionner pendant une durée de 80 ans. Il est financé par les contributions de ses membres qui comprennent la plupart des grands utilisateurs d'eau de la région (sociétés de distribution d'eau et centrales électriques, une brasserie, une entreprise d'eau embouteillée, etc.). Les objectifs du FONAG visent à soutenir la conservation, la restauration et la préservation des bassins hydrographiques qui fournissent de l'eau à Quito et les zones environnantes (FONAG, s.d.). Son intervention se décline sous la forme de programmes à long terme (communication, récupération de la couverture végétale, gestion de l'eau, éducation relative à l'environnement, contrôle et surveillance des zones prioritaires) et des projets à court terme, qui vont de l'appui aux activités de production avec emphase sur l'environnement à la recherche appliquée. Le FONAG travaille grâce à la participation active de différents acteurs communautaires, des autorités locales, des organisations gouvernementales et non gouvernementales, et des institutions éducatives.

« Le FONAG dispose d'une dotation de plus de 10 millions de dollars et d'un budget annuel de plus de 1,5 million de dollars américains. En sa qualité de plus ancien fonds officiel pour l'eau, le FONAG a réussi à protéger et à restaurer plus de 40 000 hectares de forêts páramo et andines grâce à diverses stratégies, notamment en travaillant avec plus de 400 familles locales. ... Au lieu d'effectuer des paiements directs pour la conservation, la restauration et l'agriculture durable, le fonds pour l'eau passe par des compensations en nature comme les jardins familiaux et l'appui aux projets communautaires. Outre les activités de protection directe des sources d'eau, le FONAG met l'accent sur la consolidation des alliances des bassins hydrographiques, l'éducation relative à l'environnement et la communication afin de mobiliser d'autres acteurs des bassins hydrographiques dans la protection des bassins versants. Le FONAG a également mis en place un programme de suivi hydrologique rigoureux pour communiquer et améliorer les résultats des investissements en collaboration avec plusieurs institutions académiques » (Abell et al., 2017, p. 115).

*Contribution d'Andrei Jouravlev (CEPALC).*

encourageant les entreprises et les institutions financières à « quantifier les coûts et les avantages environnementaux des projets d'investissement étrangers, notamment les différents types de rejets de polluants, de consommation d'énergie et d'utilisation de l'eau, comme une base pour la prise de décisions. ... Afin de garantir l'applicabilité de l'analyse quantitative, le calcul des coûts et avantages environnementaux doit tenir compte des facteurs tels que le niveau de développement technologique et la situation environnementale du pays hôte, tandis que les normes internationales doivent être utilisées comme référence selon le besoin » (GFC/IAC/CBA/AMAC/IAMAC/CTA/FECO, 2017, p. 3).

### 5.3 Mise en œuvre des SfN dans les zones urbaines

L'urbanisation exponentielle accroît les problèmes relatifs à la gestion de l'eau pour un grand nombre de villes dans la plupart des régions. Dans la région d'ALC, la plus urbanisée du monde en développement, près de 80 % (2014) de la population résident dans les zones urbaines,

ce taux passera à 86 % d'ici à 2050. Certes, l'Asie et l'Afrique demeurent essentiellement rurales, mais ces régions connaissent des taux d'urbanisation les plus rapides qui présentent respectivement une hausse annuelle de l'ordre de 1,5 % et 1,1 % (DAES, 2015).

La gestion des bassins hydrographiques, telle que décrite ci-dessus, offre un large éventail d'avantages potentiels pour ces agglomérations urbaines croissantes. La mise en œuvre des SfN localisées dans les villes elles-mêmes offre des possibilités supplémentaires d'atteinte de plusieurs objectifs de gestion de l'eau. Par exemple, dans le cas de New York, les mesures adoptées pour améliorer l'ingénierie civile avec les infrastructures vertes se sont révélées moins onéreuses tout en procurant des avantages partagés substantiels (voir encadré 5.6).

Les infrastructures vertes urbaines, de la revégétalisation des surfaces imperméables aux toitures vertes et les zones humides aménagées, peuvent donner des résultats positifs en termes de disponibilité de l'eau, de qualité de l'eau et de réduction des inondations, tel qu'illustré par le projet « ville-éponge » de la Chine (voir encadré 2.6).

## LES SfN DANS LES AGGLOMÉRATIONS URBAINES : VILLE DE NEW YORK

Dans la ville de New York (NYC), plusieurs approches fondées sur la nature déployant des infrastructures vertes sont mises en œuvre depuis les années 1990 en guise de réponse à la réglementation sur la qualité de l'eau, l'intérêt public pour la durabilité et les paradigmes en mutation dans la gestion des terres urbaines. La Loi sur l'eau saine (Clean Water Act, CWA) entrée en vigueur en 1972 définit les règlements relatifs au déversement de polluants dans les cours d'eau de surface des États-Unis. En vertu de la CWA, il devient illégal de déverser des polluants sans l'obtention d'une autorisation auprès du National Pollutant Discharge Elimination System programme. Des modifications apportées à la CWA originale exigent que les villes comme New York élaborent des plans à long terme pour contrôler les débordements combinés des d'égouts, déclenchés lorsque le ruissellement urbain pénètre dans le réseau d'égouts de la ville (US EPA, s.d.).

Se fondant sur de nouvelles stratégies de gestion des ressources naturelles, des terres et des infrastructures élaborées par PlaNYC, le premier plan général de durabilité de la ville, le département de la protection de l'environnement de New York (DEP) publie son plan d'infrastructure verte en 2010. Ce plan intègre des approches fondées sur la nature ainsi que la traditionnelle « ingénierie civile » pour la capture et le traitement des eaux de ruissellement urbaines (DEP, 2010). Le plan se fondait sur des calculs de rentabilité, réalisés en 2008 lors de l'élaboration du Plan de gestion durable des eaux pluviales de la ville. Ces calculs comparaient les approches vertes et grises de gestion des eaux pluviales en termes de coût de construction par unité volumétrique d'eaux pluviales retenues ou conservées dans l'installation. Les coûts moins élevés des infrastructures vertes comparativement aux installations conventionnelles de rétention des débordements combinés des d'égouts ont en dernier ressort poussé la ville à proposer la capture des 25 premiers millimètres de ruissellement générés sur 10 % des zones imperméables desservies par des égouts unitaires avec jardins pluviaux, digues biologiques, toits verts, zones humides aménagées et d'autres approches fondées sur la nature (The City of New York, 2008).

Le plan des infrastructures vertes est principalement mis en œuvre par le DEP, grâce aux fonds générés par les contribuables de l'eau, mais il mobilise aussi d'autres investissements de capitaux sur les infrastructures réalisées par d'autres agences municipales et octroie des subventions aux propriétaires privés afin de maximiser l'utilisation des infrastructures vertes sur différentes utilisations des terres urbaines. Les principaux défis relatifs à la mise en œuvre sont associés à l'emplacement approprié des installations loin des sols à faible perméabilité, des infrastructures souterraines et du mobilier urbain, et au maintien de la performance du système au fil du temps.

Les réseaux d'infrastructures de gestion des eaux pluviales financés par les fonds publics, tels que Bioswales et Stormwater Capture Greenstreets, sont généralement dimensionnés pour absorber tous les ruissellements générés dans leurs affluents pendant environ 90 % de tous les événements pluviaux survenant chaque année (par exemple, 25 à 30 mm de précipitations quotidiennes). Toutefois, la surveillance permanente sur le terrain suggère que ces systèmes apportent des avantages partagés significatifs. Les infrastructures vertes sont supposées améliorer la biodiversité, baisser la température de l'air grâce à l'ombrage, embellir les communautés et créer des possibilités de gestion écologique. Sous certaines conditions, ces mêmes systèmes sont également à mesure de réduire les risques d'inondation. Grâce à l'utilisation de quatre années de données de terrain, De Sousa et al. (2016) découvrent par exemple qu'une installation de biorétention de 125 m<sup>2</sup> située dans une section sujette aux inondations de Queens, NYC, recueille 70, 77 et 60 % de tous les ruissellements générés dans un affluent quatre fois plus grand que sa propre taille pendant toutes les précipitations (n = 92), seulement les précipitations non extrêmes (n = 78) et seulement les précipitations extrêmes (n = 14), respectivement.

Les systèmes d'infrastructures vertes conçus pour la collecte des eaux pluviales procurent également des avantages thermiques en raison de la chaleur latente de vaporisation de l'eau évaporée. Le Jacob K. Javits Convention Center Green Roof de 2,7 ha à Manhattan, NYC, la deuxième plus large toiture aux États-Unis, retient plus de la moitié des précipitations données, qui surviennent pendant la saison de croissance et permet l'évaporation d'en moyenne 3,2 mm d'eau par jour (sur la même période), elle réduit l'intensité de l'îlot de chaleur urbain et abaisse considérablement sa température de surface extérieure par rapport à une toiture classique à membrane noire (Alvizuri et al., 2017 ; Smalls-Mantey, 2017).

*Contribution de Franco A. Montalto (Université de Drexel).*



Photo : © Felix Lipov/Shutterstock.com

Dans le contexte de l'eau et de l'assainissement, les zones humides aménagées pour le traitement des eaux usées peuvent être des SfN moins onéreuses en fournissant un effluent de qualité adéquate pour plusieurs usages non potables, y compris l'irrigation, et en offrant des avantages supplémentaires, notamment la production d'énergie (voir encadré 5.7). Tenant compte de plus de 80 % de toutes les eaux usées rejetées dans l'environnement sans traitement préalable dans le monde et plus de 95 % dans certains pays en développement (WWAP, 2017), les zones humides aménagées offrent d'importantes opportunités aux communautés de toutes tailles. Ces systèmes existent déjà dans presque toutes les régions du monde, y compris la région arabe (voir encadré 5.8) et l'Afrique - ils sont relativement courants en Afrique de l'Est.

## 5.4 Les cadres régionaux et nationaux d'adoption des SfN

Bien que le plus souvent motivé par les acteurs locaux, tels que les grands utilisateurs d'eau et les municipalités visant à obtenir des résultats spécifiques en matière de gestion de l'eau, des partenariats et des cadres plus larges aux niveaux nationaux et régionaux jouent un rôle essentiel dans la mise en œuvre des SfN. La législation nationale visant à faciliter et à superviser la mise en œuvre des SfN est particulièrement importante.

La Directive-cadre sur l'eau de la Commission européenne (Directive 2000/60/CE, du « DCE » suivant) fournit un cadre fondamental à de nombreuses autres activités législatives, de gouvernance et même centrées sur les ONG pour prendre de l'avance. L'Europe s'oriente progressivement vers une approche de captage global intégré, durable, fondée sur les risques. Progressivement, cette approche a également été caractérisée par la prise en compte de la valeur et de l'impact sur un large éventail de services écosystémiques, avec la reconnaissance de l'importance de la fourniture de multiples avantages et de l'engagement avec les parties prenantes aux niveaux national, régional et local (voir encadré 5.9). La qualité de l'eau, et en particulier la pollution diffuse, est une cible clé, souvent liée à la nécessité d'améliorer les captages d'eau potable. Le deuxième principal domaine d'intérêt est l'inondation. La directive de l'UE sur les inondations (Directive 2007/60/CE) renforce le potentiel des SfN à réduire les risques d'inondation grâce aux défenses côtières (marais salants, renflouement des plages, gestion des retraites, etc.) ainsi que la « gestion naturelle des inondations » des points de captage ruraux et les systèmes de drainage urbain durables (SUDS). Un autre domaine important concerne la lutte contre la perte de biodiversité. La stratégie de l'UE pour la biodiversité à l'horizon 2020 reconnaît ce fait et appelle à une « intégration des services écosystémiques dans la prise de décisions » (CE, 2017b, p. 6).

### ENCADRÉ 5.7

#### ALLER AU-DELÀ DU TRAITEMENT DES EAUX USÉES – ZONES HUMIDES AMÉNAGÉES À PLUSIEURS FONCTIONS

Les eaux usées domestiques sont constituées de trois composants de base : l'eau, le carbone et les nutriments. Ces composants sont utiles à diverses fins, par exemple la culture des aliments ou la production de bioénergie (WWAP, 2017).

Une SfN favorable au traitement des eaux usées domestiques consiste en l'utilisation de zones humides aménagées ou artificielles. À l'image de la plupart des systèmes de traitement, les zones humides visent à réduire au minimum la matière organique et les agents pathogènes, mais elles sont de diverses efficacités lorsqu'il s'agit de la réduction de l'azote et du phosphore. Étant donné que les humains produisent annuellement et par personne environ 4,5 kg de l'azote et 0,6 kg du phosphore (Mateo-Sagasta et al., 2015), les effluents qui partent des zones humides aménagées présentent des niveaux relativement élevés de ces nutriments, ces niveaux en font une source d'eau très indiquée pour l'irrigation.

Les zones humides aménagées figurent également parmi les écosystèmes les plus productifs au monde, capables de produire des quantités relativement importantes de biomasses, en fonction du type de plante cultivée (soit plus couramment le *Phragmites australis* soit le *Typha spp.*) et du climat du milieu en question (Vymazal, 2013 ; Zhang et al., 2014 ; Mekonnen et al., 2015). Cette biomasse peut être récoltée à intervalles réguliers pour servir de biocarburant. La valeur calorifique de la majorité de ces plantes est également similaire aux carburants traditionnels de combustion tels que l'*Acacia spp.* (Morrison et al., 2014). Leur potentiel de production du biogaz reste encore moins exploré, situation qui présente des résultats de recherche initiaux prometteurs. En particulier, lorsque l'on utilise *A. donax*, également connu sous le nom de roseau géant, les rendements en méthane dépassent dans ceux du maïs ou du sorgho dans de nombreux cas (Corno et al., 2016). Selon les estimations, environ 12 % des besoins en combustible de cuisson d'un village de 60 personnes en Afrique subsaharienne peuvent être obtenus à partir de la biomasse issue d'une zone humide aménagée (Avellán et al., 2017).

L'utilisation de ces SfN peut donc servir à de multiples fins et avoir un impact indirect sur d'autres aspects, tels que le renforcement de la conservation des forêts par le biais d'une réduction de la dépendance aux combustibles ligneux et l'amélioration d'une sécurité énergétique.

Contribution de Tamara Avellán (UNU-FLORES).

## ZONES HUMIDES AMÉNAGÉES EN ÉGYPTÉ ET AU LIBAN

L'histoire de l'Égypte renseigne qu'elle a utilisé des zones humides

aménagées pour le traitement des eaux usées. Un projet pilote a servi de test de faisabilité de construction de zones humides aménagées à Bilbeis, situé à 55 km au nord du Caire. Les zones humides aménagées ont donné lieu à un effluent d'eaux usées traitées de niveau secondaire, qui a permis d'irriguer les eucalyptus destinés à la fabrication de caisses de conditionnement. Par conséquent, le projet a joué un rôle dans la conservation de l'eau et la préservation des ressources en eaux souterraines.

Ce système fondé sur la nature s'est également avéré moins onéreux sur de longues périodes, car les coûts de construction et d'exploitation sont restés inférieurs à ceux des systèmes traditionnels de traitement des eaux usées. Par voie de conséquence, la résolution d'étendre le système à d'autres zones de la municipalité a été adoptée.

Le fleuve Litani au Liban demeure très pollué en raison du déversement des rejets d'eaux usées agricoles, industrielles et domestiques non traitées. Les stations d'épuration des eaux usées de la région sont soit non opérationnelles, soit partiellement exploitées. Cette situation a abouti à la montée en flèche des concentrations de nutriments et d'agents pathogènes dans le fleuve. Un système de zones humides aménagées a été conçu pour traiter les débits d'eau du fleuve Litani et éliminer entre 30 % et 90 % de la masse de polluants, le résultat obtenu c'est une qualité d'effluent de zone humide conforme aux normes environnementales internationales autorisées. Les effluents d'eau traitée sont dirigés vers un canal de rejet pour un retour au fleuve Litani<sup>\*</sup>.

*Contribution de Carol Chouchani Cherfane (CESAO).*

<sup>\*</sup> Document fourni par Difaf (Liban), sur la base d'un projet soutenu par l'USAID.

## LES SfN ET LA DCE DE L'UE : EXPÉRIENCES TIRÉES DES PROJETS PILOTES DANS LA RÉGION DE LA MER DU NORD

La DCE de l'UE vise à promouvoir une utilisation durable de l'eau grâce à la protection et à la valorisation des écosystèmes aquatiques. Depuis 2013, la Commission

européenne a activement promu les SfN afin de restaurer les écosystèmes dégradés dans l'optique de garantir la disponibilité à long terme des ressources en eau et de préserver les avantages des écosystèmes aquatiques. Bien que la DCE soutienne l'application des SfN, leur application pratique reste entravée par un manque de preuves, de méthodologies et de directives. Une base de données transnationale commune s'avère nécessaire pour justifier les investissements et optimiser l'efficacité des SfN (CE, 2015). En 2016 et 2017, la Commission a initié un programme de recherche et d'innovation ciblé et a publié des appels à propositions pour des projets de démonstration à grande échelle des SfN afin de promouvoir cette base.

Les SfN ont gagné en importance dans plusieurs États Membres. En effet, l'accent est mis sur l'adoption des SfN dans les villes et surtout sur la régénération urbaine afin de rehausser la qualité de vie des citoyens de l'UE et de réduire les risques de catastrophes dans les villes de l'UE. Le programme-cadre Horizon 2020 est particulièrement pertinent pour le renforcement d'une plus large adoption des SfN dans le secteur urbain (Favre et al., 2017). La DCE fournit aux pays membres un cadre législatif commun d'une utilisation durable de l'eau. En dépit des efforts faits par les décideurs et les praticiens visant à communiquer sur leur objectif et leur utilisation, les SfN restent encore inconnues du grand public et stagnent souvent aux phases expérimentales (Voulvoulis et al., 2017). En outre, la proportion et la manière d'incorporation des SfN dans la législation varient d'un pays à l'autre, il en est de même des rôles et des responsabilités attribués aux différentes organisations pour leur promotion et leur prestation.

Le projet *Building with Nature*, qui fait partie du programme Interreg Vb 2014-2020 pour une « région durable de la mer du Nord »<sup>\*</sup>, vise à soutenir la mise en œuvre pratique des SfN dans les bassins hydrographiques naturels et les zones côtières de l'UE grâce à l'échange des résultats des essais pilotes et l'élaboration des lignes directrices ou des outils. Quelques-unes des premières conclusions tirées de ces essais pilotes sont : (i) contrairement aux systèmes d'infrastructures traditionnels, le rendement des SfN évolue au fil du temps et dépend des conditions physiques et écologiques locales – par conséquent, les SfN font appel à une approche sur mesure nécessitant une compréhension détaillée des conditions locales, (ii) l'implication permanente des acteurs et des communautés locales dans les phases de planification, de conception et de maintenance s'est révélée être conditionnelle à la réussite du lancement et de la mise en œuvre des projets pilotes, et (iii) le suivi du rendement des SfN et l'évaluation des projets pilotes en cours sont déterminants pour constituer la base de données probantes nécessaire à une plus large adoption. Cependant, il manque encore un ensemble d'indicateurs de performance pratiques et significatifs (Di Giovanni et Zevenbergen, 2017).

*Contribution de Chris Zevenbergen (IHE Delft).*

<sup>\*</sup> Pour de plus amples informations, veuillez consulter [archive.northsearegion.eu/ivb/project-ideas/](http://archive.northsearegion.eu/ivb/project-ideas/) et [www.northsearegion.eu/sustainable-nsr/](http://www.northsearegion.eu/sustainable-nsr/)

## LES SfN EN MATIÈRE DE GESTION DE L'EAU ET LES SERVICES DE L'EAU DANS LE CONTEXTE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA DCE DE L'UE : LE BASSIN DU RHIN

Le Rhin, l'un des plus grands fleuves d'Europe, a connu une histoire d'énormes pollutions dans la période allant de 1950 à 1970 et une impressionnante restauration au cours des quatre dernières décennies. Ce qui a commencé avec le développement d'une stratégie de surveillance conjointe dans les années 50 et 60 sous la Commission internationale pour la protection du Rhin (ICPR) est devenu une stratégie globale de gestion intégrée pour atteindre le développement durable, comprenant des aspects de la qualité de l'eau, la réduction des émissions, la restauration écologique et la prévention et l'atténuation des inondations.

Depuis le début des années 1990, le travail de l'ICPR a initié la politique gestion intégrée de l'eau au sein de l'UE. La gestion intégrée des bassins hydrographiques prend corps étape par étape dans le cadre de l'ICPR : L'ICPR s'occupe de la diminution de la pollution de l'eau depuis 1950, de l'amélioration des écosystèmes depuis 1987, des problèmes de quantité d'eau depuis 1995 (Plan d'action contre les inondations) et des problèmes relatifs aux eaux souterraines depuis 1999. Aujourd'hui, les approches à l'échelle du bassin et transfrontalières dans la gestion de l'eau et la coopération requise entre tous les pays dans un bassin hydrographique sont une obligation européenne.

La DCE de l'UE a défini de nouvelles normes en matière de politique de l'eau pour les États Membres de l'UE. Les cours d'eau, les lacs et les eaux côtières et de transition dans un bassin hydrographique (district hydrographique) doivent être considérés comme un écosystème et les aspects de protection et d'utilisation doivent être harmonisés autant que possible. La DCE et la directive sur les inondations (Directive 2007/60/CE) prévoient un plan de gestion révisé tous les six ans.

Les éléments clés de la directive sur les inondations pour les SfN sont illustrés par la mise en œuvre de plusieurs mesures adoptées en 1998 dans le cadre du plan d'action sur les inondations du Rhin qui sont considérées comme des mesures gagnantes et non regrettables qui ont non seulement un effet positif sur la prévention des inondations, mais aussi un effet sur la qualité de l'eau et l'écologie. Parmi elles figurent des mesures telles que la rétention de l'eau dans l'ensemble du bassin, le maintien ou l'extension des plaines inondables, les délocalisations de digues, les mesures de restauration, l'utilisation moins intensive des terres agricoles, la création de zones de rétention, etc.

« Sur la base des expériences et des réalisations de l'ICPR, il est possible de faire valoir qu'un processus fondé sur des engagements politiques est plus efficace et plus flexible qu'une approche qui s'appuie sur des mesures juridiquement contraignantes. ... Cependant, les deux éléments sont nécessaires et trouver un bon équilibre entre engagement politique et force exécutoire est un processus permanent et itératif » (Schulte-Wülwer-Leidig, s.d., p. 9).

*Contribution de Anne Schulte-Wülwer-Leidig (ICPR).*

Les interventions écosystémiques sont particulièrement avantageuses du point de vue transfrontalier. Elles ont rarement des impacts transfrontaliers négatifs, mais présentent de nombreux avantages pour l'ensemble du bassin, par exemple grâce au maintien et à la valorisation des services écosystémiques pertinents pour les moyens de subsistance et le bien-être humain comme l'eau potable, la régulation de l'eau et l'habitat, les opportunités récréatives et l'alimentation. La Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontaliers et des lacs internationaux de la CEE (la « Convention sur l'eau ») offre un cadre juridique général et intergouvernemental de soutien à la coopération transfrontalière visant à promouvoir les SfN. Tous les États Membres des Nations Unies ont adhéré à la Convention depuis mars 2016. La Convention sur l'eau elle-même favorise une approche écosystémique puisqu'elle oblige les acteurs à prévenir, contrôler et réduire les impacts transfrontaliers, à garantir la conservation et, selon le cas, à restaurer les écosystèmes. Plusieurs activités écosystémiques sont mises en œuvre dans le cadre de la Convention.

Les organisations des bassins transfrontaliers offrent également des opportunités pragmatiques de renforcement de l'adoption des SfN dans les pays riverains. Par exemple, la Commission internationale pour la protection du Rhin (ICPR), qui a précédé la DCE de plusieurs décennies, avait déjà placé les SfN au centre des activités et des programmes mis en œuvre par ses États Membres (voir encadré 5.10).

Depuis sa création, la DCE encourage la création des organisations plus récentes du bassin transfrontalier au sein desquelles les SfN jouent un rôle central. Le bassin du fleuve Sava (SRB) en Europe du Sud-Est en est un exemple. Ici, la mise en œuvre des SfN génère également plusieurs avantages partagés grâce aux services écosystémiques, partant de l'atténuation des inondations et la protection de la biodiversité jusqu'à la croissance économique en relation avec l'écotourisme et la navigation modernisée (voir encadré 5.11).

## LA VALEUR DES ACTIFS NATURELS ET L'IMPORTANCE DE LA COOPÉRATION TRANSFRONTALIÈRE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SAVA

L'Accord-cadre sur le bassin du fleuve Sava, ratifié par la Bosnie-et-Herzégovine, la Croatie, la Serbie et la Slovénie, est entré en vigueur en 2004. L'objectif principal de cet Accord vise la promotion du développement durable de la région grâce à la coopération transfrontalière, avec des objectifs particuliers concernant la mise en place d'un régime international de navigation et la gestion durable des eaux et des risques. Il s'agit donc de lier le développement de la navigation à la protection de l'environnement.

Le bassin du fleuve Sava est important en raison de sa diversité biologique et paysagère exceptionnelle. Il abrite les plus grands complexes de forêts alluviales riveraines de bois de feuillus en Europe. Une grande partie de ces plaines inondables reste encore intacte et contribue à la biodiversité et à la réduction des inondations, et assure un nombre important de services écosystémiques. Les grandes zones de rétention de la Sava sont parmi les systèmes de contrôle des inondations les plus efficaces en Europe.

Les sept sites Ramsar du bassin du fleuve Sava sont reconnus comme des points focaux pour le développement de l'écotourisme. Bien gérés, ils sont à mesure de rehausser les économies locales et régionales tout en protégeant les zones sensibles sur le plan écologique. Les aires protégées et les services écosystémiques du bassin du fleuve Sava sont intégrés dans le premier plan de gestion du bassin (2014), dont la principale caractéristique est qu'il correspond étroitement aux exigences de la DCE, notamment la pleine reconnaissance des SfN à résoudre tous les principaux problèmes de gestion de l'eau.

Le bassin du fleuve Sava est riche en précieux écosystèmes dépendant de l'eau à l'intérieur et au-delà des limites des aires protégées. Les vastes forêts de plaine et alluviales remplissent des fonctions multiples et ont une importance économique : elles fournissent du bois de valeur, stockent une quantité importante de carbone atmosphérique et empêchent l'érosion des sols. Toutefois, en cas de baisse du niveau des eaux souterraines, ces forêts et leurs services écosystémiques se détériorent. De même, la capacité exceptionnelle de rétention des plaines inondables des zones humides offre une multitude d'avantages aux populations tant qu'elles profitent d'un régime d'eau adéquat. Le volume de rétention des zones humides de Sava est remarquable et réduit les pointes de crue lorsque les niveaux d'eau sont élevés, avec de grands impacts positifs transfrontaliers sur le régime des crues. Ces zones humides deviennent également une source d'eau pendant les sécheresses, un fait qui prend de plus en plus de l'importance en raison des changements climatiques. Les zones humides de Sava purifient également l'eau, un avantage qui ne doit pas être sous-estimé, car les usines de traitement efficace sont insuffisantes en nombre. Ces fonctions seront très coûteuses à remplacer par des infrastructures « grises ». Une gestion efficace de ces zones offre une solution mutuellement bénéfique grâce à l'atteinte des objectifs relatifs à l'environnement de la DCE ainsi que les multiples objectifs de gestion de l'eau.

*Contribution de Dragana Milovanović (ISRBC).*



Un avantage clé des SfN est également la façon dont elles favorisent la résilience globale du système

Il existe également des exemples de cadres réglementaires qui favorisent les SfN au niveau national, tel qu'illustré par l'expérience au Pérou (voir encadré 5.12), où un cadre juridique national est adopté pour réglementer et surveiller les investissements dans les infrastructures vertes.

Un avantage clé des SfN est également la façon dont elles favorisent la résilience globale du système. Les évaluations des retours sur investissement dans les SfN ne prennent pas souvent en compte ces externalités positives, tout comme celles concernant les infrastructures grises prennent rarement en compte les externalités environnementales et sociales négatives. En effet, les infrastructures artificielles à but unique pour l'approvisionnement en eau dans un lieu donné peuvent même entraîner une perte d'approvisionnement ou de qualité dans d'autres sites hydrologiquement connectés, tel que l'a illustré le barrage des Trois Gorges en Chine (Zhang et al., 2014).



Les SfN offrent un mécanisme de réalisation des approches participatives de la gestion de l'eau et d'utilisation des terres, elles facilitent l'échange d'informations et dans certains cas s'inspirent des connaissances traditionnelles et des approches de gestion des ressources naturelles historiquement approuvées

La mise en œuvre au niveau national à grande échelle des SfN comme une partie d'un cadre politique plus large visant à atteindre un objectif spécifique de gestion de l'eau - en l'occurrence la gestion des inondations - avec des objectifs complémentaires tels que l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement sont illustrés par le programme « Room for the River » des Pays-Bas. Lancé en 2009 avec un budget de 2,5 milliards d'euros, le programme a été conçu pour restaurer les plaines inondables naturelles (SfN) le long de certaines zones non vulnérables, en détournant des fleuves et en créant des zones de stockage d'eau, afin de protéger les zones riveraines les plus développées. Les zones humides restaurées ont à la fois permis de réaliser un stockage supplémentaire et de sauvegarder la biodiversité, tout en multipliant les opportunités esthétiques et récréatives. Le programme sert également d'exemple de « gouvernance à plusieurs niveaux », qui repose sur une étroite collaboration entre les autorités nationales et locales pendant les phases de planification et de mise en œuvre des projets (Room for the River, n.d.a., n.d.b.).

Les SfN offrent un mécanisme de réalisation des approches participatives de la gestion de l'eau et d'utilisation des terres, elles facilitent l'échange d'informations et dans certains cas s'inspirent des connaissances traditionnelles et des approches de gestion des ressources naturelles historiquement approuvées (par exemple encadrés 5.1 et 5.5). Elles permettent de formaliser et d'activer des partenariats entre groupes disparates au niveau communautaire, y compris le gouvernement tant au niveau national que local, les acteurs locaux et les organisations communautaires, le secteur privé et les agences donatrices, permettant ainsi

#### ENCADRÉ 5.12

### MÉCANISMES DE COMPENSATION DE LA LOI SUR LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (PÉROU)

La loi de 2014 sur les mécanismes de compensation pour les services écosystémiques du Pérou est le premier cadre réglementaire national spécifique aux investissements dans les infrastructures vertes dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement en Amérique latine. L'objectif principal de cette loi consiste à promouvoir, réguler et surveiller les mécanismes de rémunération des services écosystémiques, définis comme des systèmes, des instruments et des incitations pour générer, canaliser, transférer et investir des ressources économiques, lorsque les gestionnaires des écosystèmes concluent un accord avec ceux qui paient leurs services, ou pour la conservation, la réhabilitation et l'utilisation durables des sources de ces services (CEPALC, 2015). Le but des mécanismes de rémunération est de garantir que les avantages générés par les écosystèmes perdurent dans le futur. En vertu de cette loi, les gestionnaires des services écosystémiques reçoivent une rémunération qui dépend de la mise en œuvre de mesures de conservation, de réhabilitation et d'utilisation durable des sources de services écosystémiques. Il peut s'agir de la conservation des aires naturelles, de la réhabilitation d'une zone ayant subi des dommages ou une dégradation de l'environnement, ou des mesures visant à faire passer les sources des services écosystémiques à une utilisation durable. À nos jours, douze villes ont déjà approuvé des tarifs incluant des investissements dans les bassins hydrographiques (Bennett et Ruef, 2016).

aux membres de la communauté de mettre en œuvre, surveiller et rendre compte des investissements, des réussites et des enseignements tirés.

Bien que de nombreux cadres pertinents exigent ou permettent d'envisager les SfN, les décisions finales sont toujours fonction d'un examen plus approfondi des coûts et des avantages des diverses options. Une fonction remarquable d'un récent développement du cadre légal/réglementaire est son insistance (légalement ou non légalement mandaté) que tous les avantages, et pas seulement un ensemble limité de résultats hydrologiques, doivent être pris en compte dans l'évaluation des options d'investissement. Ceci nécessite une approche systématique approfondie de l'évaluation des coûts et des avantages, une approche possible et qui conduit à une valorisation de prise de décision et de la performance générale du système (voir encadré 5.13).



## ÉVALUATIONS GLOBALES ET QUANTITATIVES, QUI MONTRENT QUE LES OPTIONS D'INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES COMPARABLES, PEUVENT FAVORISER LES SfN

La Stratégie nationale des ressources en eau d'Afrique du Sud en 2013 estime explicitement que les infrastructures écologiques et bâties sont des éléments complémentaires d'une approche intégrée de la gestion de l'eau. Cependant, investir dans les infrastructures écologiques nécessite une compréhension approfondie du comment, quand et où la société tire le plus d'avantages du cycle hydrologique et des services fournis par les bassins de captage. Afin d'obtenir de meilleures informations quantitatives sur le rendement des différentes options, deux options d'infrastructures écologiques (enlèvement de grands peuplements de plantes exotiques envahissantes, plantation d'arbres et réhabilitation de prairies et de terres boisées indigènes) sont comparées aux performances des infrastructures grises dans et entre deux points de captage en Afrique du Sud.

Les précédents investissements avaient ciblé la réhabilitation de fourrés indigènes subtropicaux sur des pentes qui avaient été dénudées du fait de l'élevage du bétail. Le développement de la couverture végétale dans un bassin hydrographique permet de réduire l'approvisionnement annuel moyen en eau en raison d'une forte évaporation. Cependant, les observations à l'échelle des parcelles démontrent que la réhabilitation des fourrés augmente l'interception du couvert végétal, l'infiltration et la conductivité de la terre ainsi que sa rétention de l'humidité, toutes choses qui peuvent également avoir des impacts significatifs souhaités en aval, tels que la diminution de l'intensité des inondations, l'augmentation possible du débit de base et par conséquent plus de débits importants, fiables et durables pendant la saison sèche. La réhabilitation des fourrés sur les pentes dégradées permet de réduire de six fois le ruissellement de surface et la perte de sédiments dans les pentes, ce qui montre qu'il existe d'importants avantages hydrologiques à obtenir grâce aux interventions spécifiques visant à réhabiliter, maintenir et protéger les infrastructures écologiques prioritaires.

La méthodologie à essayer afin d'obtenir des informations quantitatives permettant de comparer les options, utilise les valeurs de référence de l'unité pour les coûts économiques de l'augmentation quantifiée d'approvisionnement en eau. Ces valeurs vont de 1.17 à 2.50 de rands d'Afrique du Sud pour les infrastructures écologiques, en fonction des mesures choisies pour la réhabilitation et de leur emplacement, comparées aux coûts de 0.46 à 3.79 de rands d'Afrique du Sud pour les barrages existants, mais de 4.56 à 9.01 de rands d'Afrique du Sud pour les nouvelles infrastructures grises de substitution pour augmenter la fourniture. Des gains significatifs dans l'approvisionnement en eau ont été obtenus grâce aux infrastructures écologiques et, surtout, les augmentations du débit de base ont contribué à un approvisionnement plus précieux en saison sèche.

Le développement ci-dessus évalue seulement les avantages obtenus grâce à l'investissement dans les infrastructures écologiques en termes d'approvisionnement en eau (quantité) et de réduction des charges de sédiments. Un avantage significatif de la réhabilitation et de la protection des écosystèmes fonctionnels réside dans la multiplicité des avantages supplémentaires qu'offrent les écosystèmes par rapport aux installations d'infrastructure construite à usage unique. L'amélioration des infrastructures écologiques permet également de bonifier la qualité de l'eau, les services de pollinisation situés à proximité des terres cultivées, les valeurs de pâturage et l'accès aux plantes médicinales, tout en réduisant les intensités et les dommages des inondations, en éliminant le dioxyde de carbone de l'atmosphère, en améliorant la productivité du gibier et du bétail et en créant des opportunités d'écotourisme et les espaces culturels et récréatifs améliorés.

Les évaluations détaillées réalisées, grâce aux comparaisons économiques et hydrologiques cohérentes entre les options d'investissement dans les infrastructures des ressources en eau, montrent que la réhabilitation des infrastructures écologiques permet de renforcer la sécurité en l'eau, de soutenir les infrastructures artificielles et de fournir simultanément d'autres avantages, notamment les possibilités de création d'emplois qui n'ont pas encore été réalisés. Elle est viable et moins onéreuse sur le plan financier.

Source : Mander et al. (2017).

Un immeuble vêtu d'une forêt verticale (Milan, Italie)





# 6

## ACCÉLÉRER L'ADOPTION DES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE



PNUD-SIWI WGF | Josh Weinberg

PNUD | Marianne Kjellén

WWAP | David Coates

**Avec les contributions de<sup>14</sup>** : Florian Thevenon et Lenka Kruckova (WaterLex) ; Christopher Raymond (Swedish Agricultural University) ; John H. Matthews (AGWA) ; Tatiana Fedotova (WBCSD) ; Maria Teresa Gutierrez (OIT) ; Håkan Tropp et Sofia Widforss (SIWI) ; et Aida Karazhanova (CESAP)

La collecte des données sur les eaux pluviales dans le bassin hydrologique du fleuve Tana (Kenya)

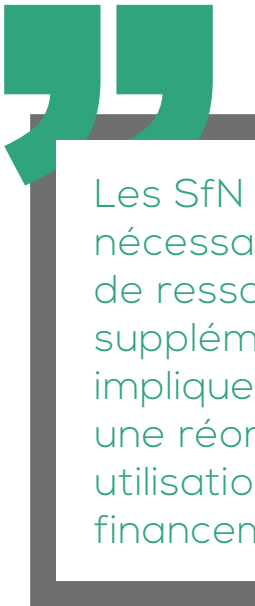


## 6.1 Introduction

Ce chapitre évalue les défis à relever de la mise en œuvre des Sfn qui les empêchent d'atteindre leur plein potentiel visant à jouer un rôle dans la gestion durable de l'eau. Ces enjeux à relever sont pris en compte lors de la préparation des chapitres 2 à 5 du présent rapport et sont assez cohérents entre eux. Par conséquent, les informations tirées de ces chapitres fusionnent dans ce chapitre avec les informations provenant d'autres revues du sujet, y compris Davis et al. (2015), Bennett et Ruef (2016) et d'autres sources citées ci-dessous. Ces enjeux sont généraux/génériques, spécifiques à une région et spécifiques à des sites ; ils sont souvent applicables aux Sfn dans leur ensemble. Ils comprennent :

- L'écrasante prédominance des solutions relatives aux infrastructures grises pour la gestion de l'eau dans les instruments actuels de la gouvernance. Cette prédominance existe également dans l'orientation des marchés économiques, l'expertise des fournisseurs de services, et donc dans l'esprit des décideurs et du grand public. Ces facteurs entraînent collectivement une inertie générale contre le développement et l'utilisation des Sfn et contre les Sfn, qui sont souvent perçues comme étant moins efficaces que les systèmes artificiels (gris). Le déséquilibre est significatif. Par exemple, même si les chiffres exacts ne sont pas disponibles, les données présentées au chapitre 5 montrent que, malgré l'augmentation des enveloppes affectées aux Sfn dans certains pays et régions, les investissements directs actuels dans les Sfn semblent inférieurs à 1 % (globalement) et sont probablement proches seulement de l'ordre de 0,1 % de l'investissement total dans la gestion et les infrastructures des ressources en eau.

<sup>14</sup> Les auteurs du chapitre souhaiteraient exprimer leur gratitude à Penny Stock, Lisa Farroway et Saskia Marijnissen du PNUD, et à Neil Coles de l'Université de Leeds pour leurs observations.



Les SfN n'ont pas nécessairement besoin de ressources financières supplémentaires, mais elles impliquent généralement une réorientation et une utilisation plus efficace des financements existants

- Un manque de sensibilisation, de communication et de connaissance de ce que sont les SfN peut réellement pousser à réduire les risques de variabilité de l'eau et rehausser la qualité et la disponibilité de l'eau par rapport aux solutions grises « traditionnelles » – à tous les niveaux, des communautés jusqu'aux planificateurs régionaux et décideurs nationaux.
- Un manque de compréhension des moyens visant à intégrer les infrastructures vertes et grises à grande échelle, et un manque général de capacité à mettre en œuvre les SfN dans le contexte de l'eau.
- Les mythes et/ou les incertitudes portant sur le fonctionnement des infrastructures naturelles et ce que signifient les services écosystémiques en termes pratiques.
- Les difficultés à mettre à disposition des évaluations claires de la performance des projets liés aux SfN. Il arrive souvent qu'on ne sache pas clairement qu'est-ce qui constitue une SfN et qu'est-ce qu'une solution hybride. Il existe un manque de directives techniques, d'outils et d'approches permettant de déterminer la bonne combinaison des SfN et les options d'infrastructures grises.
- Il existe également une difficulté relative aux terres utilisées par certaines SfN et la probabilité de tension et de conflit possible avec d'autres utilisations des terres, même si les infrastructures grises occupent souvent directement les terres ou peuvent avoir des impacts négatifs indirects sur les terres et certaines SfN nécessitent (estimation) des proportions négligeables d'une zone de bassin fluvial pour obtenir des effets à l'échelle du bassin. Ceci nécessite également l'implication de nombreux acteurs, tels que les propriétaires terriens indépendants, toute chose qui peut rendre davantage complexe la mise en œuvre.

Les réponses requises aux enjeux identifiés demandent principalement la création des bonnes conditions favorables aux SfN pour qu'elles soient prises en compte de manière équitable, ensemble avec d'autres

options de gestion des ressources en eau. Les domaines interdépendants où les conditions favorables doivent être renforcées comprennent le financement, l'environnement réglementaire et juridique, la collaboration intersectorielle, y compris l'harmonisation des politiques dans tous les domaines du développement, et la base de connaissances sur lesquelles reposent les SfN. La mise en œuvre des SfN doit s'inscrire dans les structures de gouvernance existantes (ou nouvellement adaptées) des localités où elles sont mises en œuvre. Des environnements favorables forts sont nécessaires, avec des politiques, des plans et des financements d'appui. Les cadres juridiques et réglementaires doivent être favorables ou au moins neutres pour faciliter l'adoption des SfN prometteuses. Les cadres nationaux peuvent déjà comprendre des dispositions encourageant des approches écosystémiques ou des actions durables susceptibles de soutenir une mise en œuvre accrue des SfN. La coopération intersectorielle (exemple entre les ministères) est indispensable dans la mise en œuvre de la plupart des SfN à n'importe quelle échelle. Une bonne base de connaissances et, dans certains cas, une base scientifique plus solide demeurent une importante exigence dans la plupart des zones. Les connaissances doivent être traduites et diffusées sous une forme appropriée pour l'utilisateur : par exemple, des directives qui permettent des interprétations spécifiques des SfN dans l'application des réglementations en vigueur. Le développement de nouvelles ou la réforme des politiques, règlements et plans existants permet de faire progresser ce processus.

---

## 6.2 Mobilisation des financements

Les SfN n'ont pas nécessairement besoin de ressources financières supplémentaires, mais elles impliquent généralement une réorientation et une utilisation plus efficace des financements existants. Selon les estimations, environ 10 billions de dollars américains seront consacrés aux infrastructures des ressources en eau entre 2013 et 2030 (Dobbs et al., 2013). Une question clé reste donc de savoir comment les SfN jouent un rôle dans la réduction de ce fardeau d'investissement par l'amélioration de l'efficacité économique, environnementale et sociale des résultats d'investissement. Cependant, des indications laissent à penser à une hausse des investissements dans les SfN (voir section 5.2.2). Par exemple, environ 25 milliards de dollars américains sont investis dans les infrastructures vertes pour l'eau dans le monde en 2015, avec une augmentation annuelle dans les investissements estimée à plus de 11 % par rapport à l'année précédente (Bennett et Ruef, 2016). Un élément déclencheur de ces progrès se trouve dans la reconnaissance croissante du fait que le déploiement d'approches basées sur la nature permet de créer des solutions à l'échelle du système en optimisant la génération de services écosystémiques pour rendre les investissements plus durables et moins onéreux dans le temps. Par conséquent, tel qu'il a été démontré dans les chapitres précédents, les communautés scientifiques, politiques et financières s'intéressent davantage au renforcement des

connaissances sur la conception des SfN et à la hausse du capital d'investissement afin de les mettre en place. Un élément essentiel qui permet de parvenir à ce résultat reste des approches innovantes et plus intégrées de financement.

Davis et al. (2015) soulignent l'absence des mécanismes spécifiques de financement consacré aux SfN. Toutefois, une diversité d'instruments d'approches et de financement est en cours de création afin de réaliser des investissements dans les SfN qui apportent de la valeur à la société. De nombreux exemples d'approches de financement basées sur les paiements consacrés aux services des bassins hydrographiques sont présentés au chapitre 5. Bennett et Ruef (2016) soulignent que l'investissement dans les bassins hydrographiques est principalement réalisé sur le plan local, avec près de 90 % de ces investissements provenant des programmes gouvernementaux pour subventionner directement les propriétaires terriens avec des paiements afin de prendre des mesures de protection des bassins hydrographiques. Un marché émergent des « obligations vertes » montre un potentiel prometteur pour la mobilisation des financements des SfN et, surtout, démontre que les SfN permettent d'obtenir de bons rendements lorsqu'elles sont évaluées par rapport aux rigoureux critères standardisés des performances d'investissement (voir encadré 6.1). Dans ce domaine, la Climate Bonds Initiative (CBI)<sup>15</sup> indique que les marchés mondiaux des obligations vertes et climatiques sont à mesure de jouer un rôle accru dans l'influence, le renforcement des capacités et l'aide à la mobilisation des capitaux privés à investir dans les SfN et les infrastructures vertes. Renforcer la compréhension au sein du secteur financier des moyens conduisant à la mobilisation de ces capitaux constitue un défi majeur, mais il existe des preuves qu'un changement est en cours à cet égard.

Le secteur privé peut également être encouragé et guidé pour faire progresser les SfN dans les zones où il mène des activités. Les entreprises s'intéressent de plus en plus à l'investissement dans le capital naturel et les solutions fondées sur la nature, en raison d'un argument commercial convaincant. Les arguments commerciaux qui militent en faveur des solutions fondées sur la nature sont entre autres : le caractère limité des ressources, les exigences réglementaires, les changements climatiques et les phénomènes météorologiques violents, les préoccupations des intervenants, les avantages financiers directs, les gains opérationnels, financiers et de réputation qui découlent des avantages sociaux et environnementaux partagés (WBCSD, 2015b). Les SfN reconnaissent les écosystèmes comme étant un *capital naturel*, décrit par le Protocole du capital naturel<sup>16</sup> comme le stock de ressources naturelles renouvelables et non renouvelables (par exemple les plantes, les animaux, l'air, l'eau, les terres et les minéraux) qui se combinent pour générer de nombreux avantages pour les populations. Le Protocole du capital naturel fournit

une méthode normalisée, mais personnalisable, utilisée par de nombreuses entreprises dans le monde entier pour mesurer, valoriser et intégrer le capital naturel dans les processus d'affaires afin de les aider à élaborer des stratégies et des investissements et des plans d'action. Cependant, les entreprises manquent généralement d'expertise interne et quelques fois, elles peuvent ne même pas être au courant des SfN et de l'efficacité de ces solutions. Pour surmonter ces obstacles, les entreprises peuvent former du personnel, soit avec une organisation indépendante, soit en utilisant des guides destinés aux entreprises. Par exemple, les cours de formation Natural Infrastructure for Business<sup>17</sup>, organisés par le Conseil mondial des entreprises pour le développement durable (WBCSD) en collaboration avec l'ONU E et avec le soutien de Wetlands International, Arcadis et Shell, sont une ressource utile, disponible gratuitement, tirée d'une expérience concrète dans les affaires en travaillant avec les SfN. Les entreprises ont aussi la possibilité de concevoir un cadre organisationnel consacré aux SfN applicables à différentes fonctions des affaires (exemple, les opérations, la finance, les relations avec les investisseurs, etc.) afin de déterminer comment elles peuvent jouer un rôle dans les SfN. Ceci permet de faciliter la compréhension des fonctions des SfN et leur potentielle valeur ajoutée, y compris les avantages financiers directs. Les entreprises peuvent également élargir des partenariats afin de développer ensemble les SfN. La collaboration avec les communautés riveraines et les ONG permet aux entreprises d'obtenir leur autorisation sociale pour fonctionner et multiplier les avantages sociaux et environnementaux partagés qui peuvent découler des SfN.

Le Mécanisme de financement du capital naturel est un instrument financier qui combine des ressources de la BEI et des fonds de la Commission européenne engagés au titre du programme LIFE, le dispositif de financement de l'UE en faveur de l'environnement et de l'action pour le climat<sup>18</sup>. Le Mécanisme apporte un soutien financier aux projets axés sur la biodiversité et les services écosystémiques qui génèrent des revenus ou permettent de réaliser des économies. Ce faisant, le Mécanisme vise à convaincre le marché et les potentiels investisseurs de l'attractivité de la biodiversité et des opérations d'adaptation au climat afin de promouvoir des investissements durables à partir du secteur privé.

Le renforcement des méthodes d'évaluation des écosystèmes et des ressources naturelles fournit les outils nécessaires qui permettent d'intégrer les SfN dans la prise de décision. Par exemple, l'approche comptabilisation du patrimoine et la valorisation des services d'écosystèmes (WAVES) permet de prendre des décisions plus éclairées concernant les infrastructures et la réglementation de la qualité et de la quantité de l'eau dans les systèmes comptables nationaux (Banque mondiale, s.d.).

<sup>15</sup> La CBI est une organisation internationale à but non lucratif centrée sur l'investisseur. Voir [www.climatebonds.net/about](http://www.climatebonds.net/about).

<sup>16</sup> Pour plus d'informations sur le capital naturel et le protocole sur le capital naturel, voir [naturalcapitalcoalition.org/protocol/](http://naturalcapitalcoalition.org/protocol/)

<sup>17</sup> Pour de plus amples informations sur la formation intitulée « Infrastructures naturelles pour les affaires », consultez [www.naturalinfrastructureforbusiness.org/resources/#training.</791></788>](http://www.naturalinfrastructureforbusiness.org/resources/#training.</791></788>)

<sup>18</sup> Pour de plus amples informations sur le Mécanisme de financement du capital naturel, consultez [www.eib.org/products/blending/ncff/index.htm](http://www.eib.org/products/blending/ncff/index.htm)

## FINANCEMENT DE LA RÉSILIENCE DES RESSOURCES EN EAU : L'ÉMERGENCE DES OBLIGATIONS VERTES ET CLIMATIQUES POUR L'EAU

En 2007, la Banque européenne d'investissement et la Banque mondiale ont commencé à émettre des « obligations vertes » (également appelées « obligations climatiques ») en tant que mécanisme de prêt pour démontrer les avantages économiques des actifs et des investissements positifs pour l'environnement. Une « obligation verte » est différente d'une obligation ordinaire en ce sens qu'elle signifie un engagement à utiliser les fonds collectés exclusivement pour financer ou refinancer des projets, actifs ou activités économiques bénéfiques pour l'environnement (ICMA, 2015), tandis qu'une obligation climatique renvoie plus spécifiquement à un actif ou projet axé sur l'atténuation ou l'adaptation aux changements climatiques. De nombreux projets d'infrastructures hydrauliques aux niveaux national et infranational sont financés par des obligations. Dans le monde développé, les obligations individuelles pour des entités telles que les services d'eau urbains peuvent facilement s'élever à plusieurs centaines de millions de dollars américains.

En tant que catégorie d'investissement, les obligations vertes et climatiques sont restées des marchés relativement niches ayant un impact limité environ jusqu'en 2013. Cette année-là, les émissions ont triplé pour atteindre environ 10 milliards de dollars américains après que les institutions financières et commerciales aient commencé à promouvoir le marché. Ces tendances se sont accélérées en 2014 (35 milliards de dollars américains) et ont dépassé 80 milliards de dollars américains en 2016, ce qui semble favorable au regard de l'appel à la CCNUCC de l'Accord de Paris pour atteindre 100 milliards de dollars américains pour le financement du climat d'ici à 2020 (CBI, 2017). Alors que le marché boursier a connu une croissance rapide, la plupart des obligations ont été initialement offertes avec des preuves limitées de garanties. De plus, la sensibilité des investissements liés à l'eau aux impacts climatiques a mis en évidence la nécessité de ces investissements de démontrer la robustesse et l'efficacité de l'adaptation climatique. En 2014, un consortium d'ONG – Ceres, le CBI, le World Resources Institute, le CDP\*, l'Institut international de l'eau de Stockholm (SIWI) et l'Alliance pour l'adaptation mondiale de l'eau (AGWA) ont organisé une série de groupes de travail des critères de notation pour les émetteurs et les vérificateurs afin de donner confiance aux investisseurs sur le marché du climat et des obligations vertes, en faisant appel à plus d'une centaine d'experts des écosystèmes aquatiques, de l'ingénierie, de la gouvernance, de l'économie environnementale et de l'hydrologie. Ces critères évaluent le potentiel d'adaptation au climat de ces obligations, en plus de leur impact environnemental sur la base de plus récentes données scientifiques et de l'évaluation de solutions robustes et flexibles de gestion de l'eau (Walton, 2016).

La première phase du projet a ciblé les investissements traditionnels dans les infrastructures hydrauliques « grises » à l'exclusion de l'hydroélectricité, tandis que la deuxième phase était axée sur l'utilisation des SfN et sur les critères d'énergie hydroélectrique. À bien des égards, ces critères servent à combler les lacunes en matière de connaissances et de sensibilisation entre la communauté de gestion technique des ressources en eau, les finances et les publics d'investisseurs. En tant que tels, les critères servent de puissant outil de communication sur les questions liées à la résilience et aux ressources en eau (Michell, 2016). L'émission réussie en 2016 de la première obligation notée par rapport à la norme représente un changement important dans la sensibilisation des investisseurs\*\*, avec des réactions dramatiques de la presse spécialisée dans le financement du développement, les investisseurs et la gestion de l'eau (Lubber, 2016), ainsi que les principales institutions publiques (par exemple la promotion par les États-Unis de la norme CBI pour la Journée mondiale de l'eau 2016\*\*\*). Moins d'un an après la finalisation des critères de la phase 1, plus d'un milliard de dollars américains avaient été émis par rapport à la norme, y compris la première émission africaine provenant de Cape Town, avec des évaluations soutenues par KPMG. La norme a pris une certaine distance pour combler les écarts entre les communautés des changements climatiques, de l'eau et des finances.

*Contribution de John H. Matthews (AGWA).*

\* Anciennement Carbon Disclosure Project

\*\* [www.waterworld.com/articles/2016/05/san-francisco-public-utilities-commission-issues-world-s-first-certified-green-bond-for-water-infrastructure.html](http://www.waterworld.com/articles/2016/05/san-francisco-public-utilities-commission-issues-world-s-first-certified-green-bond-for-water-infrastructure.html)

\*\*\* [www.ooskanews.com/story/2016/03/agwa-presents-two-new-initiatives-white-house-water-summit\\_170615](http://www.ooskanews.com/story/2016/03/agwa-presents-two-new-initiatives-white-house-water-summit_170615)

L'agriculture représente un domaine important pour le financement de plus d'adoption des SfN. Cependant, il est difficile d'évaluer les investissements actuels et potentiels, car ils font généralement partie intégrante d'investissements plus larges visant à améliorer la durabilité de l'agriculture. Collectivement, les pays de l'OCDE uniquement ont transféré un montant annuel moyen de 601 milliards de dollars américains aux producteurs agricoles au cours des années allant de 2012 à 14. Par ailleurs, ils ont dépensé un supplément chiffré à 135 milliards de dollars américains dans les services généraux qui soutiennent l'ensemble du fonctionnement du secteur. De même, certaines grandes économies émergentes ont commencé à atteindre le niveau moyen de soutien fourni par les pays de l'OCDE (OCDE, 2015b). Néanmoins, la grande partie des subventions agricoles, et probablement les principaux financements publics et presque tous les investissements issus du secteur privé consacrés à la recherche et le développement agricoles, soutiennent l'intensification de l'agriculture conventionnelle qui accroît l'insécurité hydrique (FAO, 2011b). L'intégration du concept d'intensification écologique durable de la production agricole, qui implique essentiellement le déploiement des SfN (techniques améliorées de gestion des terres et du paysage), constitue non seulement la voie de progrès reconnue pour assurer la sécurité alimentaire (FAO, 2014a), mais aussi reste une avancée majeure dans le financement des SfN.

Les finances peuvent faire mieux que canaliser simplement les investissements. Elles peuvent également guider le développement du projet vers des SfN acceptables et bancables. Les gouvernements fournissent régulièrement des orientations aux fonds d'investissement publics, aux fonds souverains et à d'autres instruments similaires pour créer des filtres d'investissement qui soutiennent une économie durable. La même procédure peut s'appliquer aux investissements verts. En mettant en place des mandats verts, les décideurs signalent aux émetteurs d'obligations qu'il existe une forte demande pour leurs émissions d'obligations vertes (CBI, s.d.). Les expériences tirées des marchés et des instruments mixtes grâce aux obligations vertes peuvent aider d'autres acteurs du secteur financier à rejoindre ou à répliquer à travers le monde afin qu'ils deviennent eux-mêmes pilotes, en essayant les différentes options d'outils d'investissement pouvant soutenir efficacement les SfN dans différents contextes. La coordination ultérieure, le partage des connaissances et le développement conjoint des normes similaires parmi les obligations vertes et autres ou instruments auront un profond impact positif sur l'accélération des flux de capitaux financiers disponibles dans les SfN et amèneront possiblement ces investissements à fournir de meilleurs revenus et plus de valeur à la société.

L'évaluation des avantages partagés des SfN (grâce à une analyse coûts-avantages plus intégrée) est une étape essentielle à la réalisation des investissements efficaces et à l'exploitation des ressources financières dans de nombreux secteurs. Par exemple, les SfN constituent une solution clé pour combler les défaillances relatives aux besoins

prévisionnels de financement de la conservation de la biodiversité grâce à la réorientation des investissements existants, surtout dans les infrastructures de gestion de l'eau et le développement de l'agriculture (PNUD/BIOFIN, 2016). Tous les avantages, pas uniquement une portion étroite des résultats hydrologiques, doivent être pris en compte dans l'évaluation des options d'investissement. Ceci requiert une approche systématique détaillée, mais lorsque cette approche est adoptée, elle aboutit à d'importantes améliorations dans la prise de décisions et la performance générale du système. Par exemple, Mander et al. (2017) fournissent un outil utile ou une méthodologie pour les évaluations plus globales sur hydrologie et autres résultats des options d'investissement qui peuvent grandement être bénéfiques aux choix des investissements, en montrant que les avantages partagés des SfN peuvent souvent prendre les décisions relatives aux investissements en leur faveur (voir encadré 5.13).

Cependant, il existe encore un écart considérable entre la manière dont les entreprises et les communautés financières évaluent l'importance de l'appui aux investissements judicieux dans les SfN et leur capacité actuelle à mobiliser des investissements dans des projets concrets et la planification du développement (CBI, 2017). Un énorme défi à relever, vu à tous les niveaux (national régional et mondial), reste l'écart entre le capital potentiel disponible pour l'investissement et les projets bancables soutenus par des organismes de mise en œuvre capables de les exécuter. Cet écart est souvent le résultat en partie d'une inadéquation des connaissances et des capacités entre les groupes d'intervenants - ceux qui possèdent des connaissances techniques des SfN ne possèdent pas souvent eux-mêmes les connaissances sur les financements disponibles et les conditions d'y accéder, et vice versa, les spécialistes des finances ne reconnaissent pas souvent ou n'apprécient pas les SfN. En clair, une meilleure communication entre ces deux groupes sera essentielle pour accélérer les progrès.

## 6.3 Développer un environnement réglementaire et juridique

### 6.3.1 Cadres et réglementations nationaux et régionaux

Davis et al. (2015) soulignent que les environnements réglementaires et juridiques actuels pour l'eau sont développés en grande partie avec à l'esprit des approches d'infrastructure grise. Par conséquent, il peut souvent être difficile de moderniser les SfN dans ce cadre. La réalisation des progrès dans le déploiement complet des SfN exige donc que les gouvernements évaluent et, au besoin, modifient leurs régimes juridiques et réglementaires pour éliminer les obstacles à l'adoption des SfN. Par exemple, la ville de Bâle en Suisse a développé la plus grande superficie de toits verts par habitant au monde, grâce aux investissements dans des programmes incitatifs visant à subventionner leur installation. La ville a adopté une loi



sur le bâtiment et la construction qui exige des toits verts sur tous nouveaux développements avec des toits plats, y compris un amendement qui stipule des directives de conception associées afin de maximiser leur rôle joué dans la biodiversité (Kazmierczak et Carter, 2010 ; AEE, 2016).

Des changements radicaux dans les régimes de réglementation ne sont pas nécessairement requis et beaucoup de choses peuvent se faire en promouvant plus efficacement les SfN à travers les cadres existants. Par exemple, en 2013 la Commission européenne a adopté la Stratégie d'infrastructure verte (CE, 2013b) afin d'encourager le développement d'infrastructures vertes dans les zones rurales et urbaines de l'UE.

Dans les pays où la législation favorable n'existe pas encore, identifier où et comment les SfN peuvent soutenir les approches de planification existantes à différents niveaux constitue une première étape utile dans ce processus. Par exemple, la Commission européenne a publié un document de politique sur les « mesures de rétention d'eau naturelle » (CE, 2014), soulignant leur contribution potentielle à la mise en œuvre de plusieurs directives (eau, inondations, habitat, etc.) et les plans de gestion des bassins fluviaux. Bien qu'elle n'impose pas leur utilisation, ce document a précédé la création de réseaux régionaux de soutien et de nouvelles communautés de pratique dans les principaux bassins fluviaux.

Dans certains cas, les leviers de politique directe facilitent l'adoption des SfN ou permettent d'éliminer les obstacles directs. Bennett et Ruef (2016) donnent plusieurs exemples. En Californie, une nouvelle loi est introduite en 2016 qui qualifie les forêts et les prairies d'infrastructures hydrauliques. En retour, cette qualification permet de financer les infrastructures hydrauliques disponibles afin de protéger ou de restaurer les paysages utilisés pour l'approvisionnement en eau. Au Pérou, on oblige directement les services publics d'allouer les recettes provenant des tarifs de l'eau à l'investissement dans les infrastructures vertes et les SfN pour l'adaptation au climat. Dans l'UE, la politique agricole commune prévoit de dépenser 30 % des paiements directs octroyés par les subventions agricoles de l'UE pour améliorer l'utilisation des ressources naturelles (c'est-à-dire « l'écologisation » des mesures, qui comprennent plusieurs SfN possibles au niveau des exploitations). Ces politiques permettent aux autorités publiques d'avoir un moyen d'accéder aux processus nouveaux ou existants pour qu'elles sélectionnent, financent et mettent en œuvre les SfN.

Pour que les villes adoptent un large éventail de SfN, elles doivent généralement relever d'un plan ou d'une stratégie spécifique, ou les SfN doivent être intégrés dans le plan global de développement (Kremer et al., 2016). Chaque ville, région ou pays trouvera différentes options qui ont du sens dans leurs plans et mécanismes de financement existants. À Barcelone, par exemple, un « Plan d'infrastructure verte et de biodiversité » a été adopté, il proposait des programmes de mise en œuvre et un « catalogue d'actions potentielles » comprenant

une gamme de SfN (Oppla, s.d.). En Chine, d'importants investissements à l'échelle nationale pour soutenir les villes de démonstration en vue de mettre au point la planification et la conception de la « ville éponge » (voir encadré 2.6) constituent un moyen similaire pour tester et étendre les SfN dans les systèmes SUDS (Horn et Xu, 2017).

### 6.3.2 Exploitation des cadres internationaux et mondiaux

Au niveau mondial, les SfN offrent aux États Membres un moyen de réagir et d'utiliser comme outils, par exemple les divers accords multilatéraux sur l'environnement (notamment la Convention sur la diversité biologique, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et la Convention de Ramsar sur les zones humides), le Cadre de Sendai sur la réduction des risques de catastrophe, les cadres convenus pour la sécurité alimentaire (voir chapitre 1 pour plus de détails) et l'Accord de Paris sur les changements climatiques, tout en répondant aux impératifs économiques et sociaux. Chacune de ces conventions doit être incorporée dans les réglementations et politiques nationales pertinentes qui influencent la prise de décisions à l'échelle provinciale et locale et impliquent l'intégration des SfN. Étant donné que de nombreuses SfN sont mises en œuvre au niveau local, les États Membres revoient leur cadre politique global, en s'assurant qu'au niveau approprié de prise de décision, les mesures incitatives adéquates et un environnement favorable à l'élaboration des politiques soient en place pour permettre l'adoption des SfN selon le besoin. Un cadre général de promotion des SfN est le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et les ODD (développé au chapitre 7).

## 6.4 Renforcer la collaboration intersectorielle et l'harmonisation des politiques

### 6.4.1 Collaboration intersectorielle

Un défi à relever bien étayé réside dans le fait que les SfN peuvent exiger des niveaux de collaboration intersectorielle beaucoup plus élevés que les approches d'infrastructure grise, surtout lorsqu'elles sont appliquées à l'échelle du paysage. Les SfN traversent souvent de nombreux domaines d'intérêt sectoriel (par exemple entre ceux qui travaillent avec la gestion de l'eau, l'agriculture, la sylviculture, la planification urbaine, la protection écologique, etc.) et les acteurs ont des perspectives et des priorités différentes pour chaque SfN (Nesshöver et al., 2017). Cependant, ceci peut également ouvrir des opportunités pour rassembler ces groupes dans un projet ou un agenda commun.

Une SfN peut sembler plus utile à un planificateur lorsque la discussion porte sur un problème clairement identifié et la SfN est présentée comme une solution de rechange ou un complément à d'autres options (Barton, 2016). Ceci aide à renforcer l'adoption des SfN dans le cadre de la conception

globale des politiques, mesures ou actions visant à relever divers enjeux. Pour qu'une SfN soit présentée comme une réussite, elle doit être inéquivoque sur ce qu'elle apporte, combien elle coûtera, comment elle doit être gérée et qui sera en mesure de le faire.

Un ensemble « d'études de cas sur les infrastructures vertes » impliquant des entreprises a été collecté et évalué par les entreprises participantes (Dow Chemical Company/Swiss Re/Shell/Unilever/TNC, 2013). Ces études vont de la gestion des zones humides aménagées et la gestion des eaux pluviales jusqu'au traitement, la décontamination et le contrôle des érosions. Les enseignements clés concernent les perspectives temporelles, où une vision à long terme privilégie les SfN par rapport aux solutions grises et la nécessité de définir les limites suffisamment larges pour inclure des services écosystémiques et, surtout, l'appropriation par la haute direction appuyée par un leader pour faire avancer le projet.

Le secteur agricole a également progressé : par exemple, l'adoption et la propagation rapides des terres cultivées en basse culture ou en agriculture de conservation ont plus que triplé, passant d'environ 45 millions d'hectares de terres cultivées dans les années 1990 à environ 157 millions aujourd'hui (AQUASTAT, s.d.), ce qui représente un peu plus de 1 % des terres actuellement sous cultures permanentes. Par ailleurs, l'adoption est très variable entre les régions et les différences semblent avoir plus à voir avec des environnements favorables qu'avec des facteurs économiques ou biogéologiques-climatiques. De manière remarquable, l'existence d'un parti pris institutionnel, politique et commercial contraire aux solutions durables semble être un facteur décisif (Derpsch et Friedrich, 2009). L'un des ingrédients clés du succès de l'agriculture de conservation est la reconnaissance par les agriculteurs que l'approche permet d'améliorer la productivité et la durabilité des exploitations agricoles, en plus des avantages environnementaux non agricoles. Ceci montre que les résultats gagnant-gagnant des SfN doivent être mieux identifiés et valorisés afin d'encourager un engagement plus large des acteurs et de promouvoir une meilleure coordination. Lorsqu'il y a des perdants, ils doivent être identifiés et, au besoin, être indemnisés.

#### 6.4.2 Harmonisation des politiques entre plusieurs programmes

L'harmonisation de divers domaines politiques à l'échelle mondiale, internationale, nationale, provinciale et locale est un besoin clé pour le développement durable. Les SfN offrent un moyen de rendre opérationnelle la politique à travers les dimensions sociales et environnementales, les échelles et les économies. Il s'agit également, dans un sens, d'un moyen essentiel de promouvoir la collaboration intersectorielle à travers le développement d'un consensus sur les objectifs politiques dans une situation particulière.

Dans de nombreux pays, le paysage politique reste très divisé. Une meilleure harmonisation des politiques entre les agendas économiques, environnementaux et



Une SfN peut sembler plus utile à un planificateur lorsque la discussion porte sur un problème clairement identifié et la SfN est présentée comme une solution de rechange ou un complément à d'autres options

sociaux est une exigence générale à part entière, mais particulièrement importante en ce qui concerne les SfN en raison de leur capacité à fournir des avantages multiples partagés, et souvent significatifs, au-delà des seuls résultats hydrologiques. Les impacts sociaux des stratégies de gestion de l'espace vert, par exemple, jouent un rôle dans une gamme de résultats en matière de santé publique et de bien-être qui peuvent également susciter l'intérêt du public ou renforcer le soutien politique à leur mise en œuvre. Ces impacts comprennent les effets positifs des espaces verts sur les populations grâce à la relaxation psychologique, le soulagement du stress, de meilleures opportunités d'activité physique, moins de dépressions et une meilleure santé mentale et physique (Raymond et coll., 2017). Les mesures de rétention d'eau naturelles (NWRM) de la Commission européenne (CE, 2014) proposent également des recommandations pour coordonner la planification et le financement dans d'autres domaines politiques tels que la Directive-cadre sur l'eau et la Directive sur les inondations. En Allemagne, une évaluation a identifié les objectifs politiques précis définis par le gouvernement, où les investissements dans les SfN prennent l'orientation qui facilite l'atteinte de ces objectifs, y compris son objectif d'atténuation du changement climatique, ainsi que ses stratégies nationales d'adaptation, de protection de la biodiversité et des forêts (Naumann et al., 2014). Quatre ministères différents ayant un accent thématique différent collaborent étroitement pour assurer une approche intégrée destinée à la mise en œuvre réussie de l'approche « ville-éponge » de la Chine (voir encadré 2.6). La Commission nationale du développement et de la réforme met à disposition des fonds spécialement alloués à la construction de la ville éponge, le ministère des Finances encourage les partenariats public-privé et le soutien financier direct, le ministère de l'Urbanisme et du Logement propose des conseils systémiques relatifs aux objectifs, normes technologiques et à l'évaluation, et le ministère des Ressources en eau fournit des conseils opérationnels et une supervision sur les aspects liés à la conservation de l'eau (Ambassade du Royaume des Pays-Bas en Chine, 2016 ; Xu et Horn, 2017).

## Les SfN doivent disposer d'une base renforcée de connaissances et de sciences pour soutenir l'accélération de leur adoption

Des directives claires provenant du plus haut niveau politique peuvent considérablement accélérer l'adoption des SfN et favoriser une meilleure coordination intersectorielle. Aux États-Unis, par exemple, un mémorandum présidentiel de 2015 (La Maison-Blanche, 2015) a mandaté les agences fédérales de tenir compte des infrastructures vertes dans leur prise de décision et a lancé un centre d'investissement en ressources naturelles. En guise de réponse, le Département de l'Énergie et de l'Environnement à Washington offre des formations et des conseils sur l'utilisation des infrastructures vertes destinées à la réduction des eaux pluviales, y compris des formations sur la conformité générale, la génération et la certification des crédits de rétention des eaux pluviales et des réductions sur les redevances relatives aux eaux pluviales imperméables, au ratio des espaces verts et aux meilleures pratiques de gestion des inspections et de la construction des infrastructures vertes<sup>19</sup>. L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA) présente une série de fiches descriptives qui expliquent « comment les professionnels de l'autorisation et de l'exécution d'EPA et de l'État peuvent intégrer les pratiques et les approches des infrastructures vertes dans les programmes nationaux relatifs aux climats humides, systèmes d'élimination des décharges de polluants, y compris les autorisations des eaux pluviales, les charges totales maximales journalières, les plans de contrôle à long terme des débordements d'égouts unitaires et les mesures d'exécution » (US EPA, 2015, p. 2)

Deux outils clés couramment utilisés pour faciliter plus d'approches intégrées à la gestion des ressources en eau, y compris la résolution des problèmes liés à plusieurs groupes d'acteurs, comprennent la planification intégrée de l'utilisation des terres et la GIRE. Toutefois, dans la pratique, les deux outils ne parviennent souvent pas à intégrer correctement la dimension eau-écosystème : en fait, la planification de l'utilisation des terres ne tient pas toujours compte des implications de l'utilisation des terres consacrée aux ressources en eau et la GIRE (dans la pratique) est souvent trop centrée sur la gestion des allocations destinées aux eaux de surface et souterraines et néglige les influences de l'écosystème, y compris les impacts des changements causés par l'utilisation des terres. Les deux outils omettent trop souvent de tenir compte des services écosystémiques

comme un cadre d'évaluation, qui entraîne des omissions importantes d'énormes impacts des choix de gestion. Par conséquent, une réponse clé consiste en une intégration complète des écosystèmes et des services écosystémiques dans la planification de l'utilisation des terres et de l'eau.

## 6.5 Favoriser une meilleure base de connaissances

### 6.5.1 Renforcer les connaissances et dissiper les mythes

La question de l'interaction entre l'environnement naturel et l'eau est minée par des mythes, des fausses interprétations et des généralisations trop hâtives (Bullock et Acreman, 2003, Andréssian, 2004, Chappell, 2005, Tognetti et al., 2005). Cette situation fragilise plutôt la confiance dans les applications des SfN. Des inférences ou des suppositions sont faites, souvent à tort, sur les fonctions hydrologiques opérant dans les écosystèmes et donc sur l'efficacité par laquelle elles peuvent altérer le cycle hydrologique et apporter des avantages aux populations. Comme cela a été souligné au chapitre 1, les services hydrologiques et autres fournis par différents types d'écosystèmes varient considérablement. Il revient à dire que les applications des SfN doivent être moins basées sur des hypothèses généralisées et mieux évaluées et conçues spécifiquement pour des applications locales. Un facteur qui joue un rôle est souvent un manque de rigueur, voire une incompréhension, concernant les voies hydrologiques précises en jeu et la façon dont celles-ci sont influencées ou non par les interventions de gestion des écosystèmes. Raymond et al. résumant les principales lacunes dans l'évaluation des impacts issus des SfN (centrées sur les zones urbaines). Ils notent que les impacts des SfN sur l'environnement sont bien compris, mais leur rentabilité et la fourniture soutenue de différents avantages sont souvent peu claires. Une meilleure base de connaissances, y compris dans certains cas une science plus rigoureuse, est une nécessité absolue. Les preuves établies permettent de convaincre les décideurs de la viabilité des SfN. Les perceptions d'incertitude qui entourent leur performance et leur rentabilité, l'accès limité aux informations et conseils sur leur conception, la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation, ainsi que la crainte de coûts élevés de mise en œuvre sont tous identifiés comme étant des obstacles à la mise en œuvre des SfN (Davis et al., 2015). L'exigence la plus fondamentale reste la capacité à insuffler la confiance qui veut qu'une SfN puisse satisfaire l'objectif principal du service de l'eau qu'elle est censée remplir, même si la prise en compte des avantages partagés non-hydrologiques peuvent encore influencer les décisions en leur faveur (Mander et al., 2017). D'autre part, les mesures non encourageantes sont prises quand une SfN mal conçue se termine par un échec. Cet échec contribue à tendre plutôt vers des solutions grises.

<sup>19</sup> Pour de plus amples informations, consultez [doee.dc.gov/node/619262](https://doee.dc.gov/node/619262)

Cependant, la critique de la base probante des SfN est une illustration supplémentaire de la manière dont les approches vertes et grises sont différemment traitées. Par exemple, les preuves hydrologiques et socioéconomiques sur lesquelles reposent certaines infrastructures grises établissent une barre de très bas niveau par rapport auquel la SfN peut être jugée. La Commission mondiale des barrages (2000), par exemple, a dissipé la perception selon laquelle les projets de méga-infrastructure sont toujours fondés sur des bases scientifiques, économiques et techniques solides, avec les projets de grands barrages présentant un degré élevé de variabilité en ce qui concerne les avantages prévus. Ces projets manquent d'objectifs physiques et économiques, et présentent des dépassements de coûts importants, alors que leur véritable rentabilité reste difficile à saisir, car leurs coûts environnementaux et sociaux ont souvent été mal pris en compte en termes économiques. La Commission était également « inquiète de constater que les évaluations de fond des projets achevés sont peu nombreuses, de portée limitée, mal intégrées dans les échelles et catégories d'impact et insuffisamment liées aux décisions portant sur les opérations » (Commission mondiale des barrages, 2000, p. xxxi). L'étude de pays sur l'Inde de la Commission conclue qu'un siècle ou plus de mise en valeur des ressources en eau à grande échelle a eu de graves impacts sociaux et écologiques, notamment des déplacements significatifs des humains, l'érosion des sols et l'engorgement généralisé. Cependant, contrairement aux objectifs fixés, seuls des petits avantages en termes de sécurité alimentaire ont été réalisés (Rangachari et al., 2000). Néanmoins, les SfN doivent disposer d'une base renforcée de connaissances et de sciences pour soutenir l'accélération de leur adoption. Les SfN ne sont pas en fait souvent aussi prévisibles que les solutions conventionnelles des infrastructures grises. Même s'il existe une abondance de données historiques sur les coûts et les avantages sur les infrastructures construites pour la gestion des ressources en eau, ce n'est généralement pas le cas pour les options relatives aux SfN (PNUE-DHI/UICN/TNC, 2014). La meilleure solution consiste à adopter l'innovation et la recherche permanentes pendant la mise en œuvre et à gérer de manière adaptative la SfN de façon rigoureuse sur le plan scientifique, en admettant que les écosystèmes sont dynamiques et complexes (Mills et al., 2015).

Une autre préoccupation fréquemment soulevée montre que les SfN mettent beaucoup de temps à donner des résultats, autrement dit, les infrastructures grises présentent des solutions plus rapides. Ceci n'est pas nécessairement le cas. Par exemple, la construction d'une installation durable de drainage local urbain ou d'un toit vert peut se réaliser en quelques jours, avec des impacts immédiats. L'application de ces solutions à grande échelle peut en effet prendre plus de temps, mais pas nécessairement plus de temps que les alternatives grises. Faire passer la gestion des terres cultivées à un faible travail du sol plus durable (« agriculture de conservation ») peut produire des avantages au bout de deux ou trois ans (Derpsch et Friedrich, 2009). Le déploiement à l'échelle du paysage des SfN, en passant par exemple par la

restauration des écosystèmes, dure plus longtemps, mais des impacts significatifs s'obtiennent au bout d'environ 10 ans (voir encadré 2.2). Comparativement, les grands barrages prennent en moyenne 8,6 ans pour être physiquement construits (sans tenir compte du temps requis pour la conception, la planification et le financement) et 8 grands barrages sur 10 subissent un dépassement de calendrier (Ansar et al., 2014).

Une autre hypothèse souvent exagérée à propos des SfN est la suivante : elles sont « rentables », alors que cette hypothèse doit se vérifier lors d'une évaluation, y compris la prise en compte des avantages partagés. D'autre part, tandis que certaines applications de la SfN à petite échelle peuvent être peu ou moins onéreuses, d'autres par contre, surtout celles à grande échelle, peuvent nécessiter des investissements importants : par exemple, les coûts de restauration des écosystèmes varient largement de quelques centaines à plusieurs millions de dollars américains par hectare (Russi et al., 2012).

Bien que peu de gens pensent que les humains reçoivent des services inestimables des écosystèmes et en dépendent fortement, les méthodes pour identifier et évaluer ces services et intégrer la valorisation dans les processus de planification et de prise de décision demeurent un défi de gouvernance important (Kremer et al., 2016). Différentes formes d'analyse à plusieurs critères sont utilisées pour mieux informer la prise de décision sur les projets relatifs aux SfN (Liquete et al., 2016). Ces analyses sont plus utiles lorsqu'elles peuvent évaluer une éventuelle SfN par rapport à d'autres options, qui comprennent des infrastructures grises ou hybrides gris-vert ou maintiennent une situation actuelle.

Naturellement, les SfN sont étroitement alignées sur les connaissances traditionnelles et locales, y compris celles détenues par les peuples indigènes et tribaux, dans le contexte de la variabilité et du changement de l'eau. Les populations indigènes et tribales s'occupent d'environ 22 % de la surface de la Terre et protègent près de 80 % de la biodiversité restante de la planète, tout en représentant près de 5 % de la population mondiale (OIT, 2017). Pour que les SfN bénéficient correctement des contributions des peuples indigènes et tribaux et d'autres sources de connaissances, il est impératif que leurs vulnérabilités socioéconomiques et environnementales soient prises en compte et que leurs droits soient respectés. La Convention 169 relative aux peuples indigènes et tribaux de l'Organisation internationale du travail (OIT, 1989) est un traité international qui fournit des conseils pour assurer l'autonomisation des peuples autochtones et promouvoir leurs connaissances traditionnelles, leurs cultures et leurs modes de vie. De plus en plus, des processus internationaux globaux, tels que le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe et l'Accord de Paris sur le changement climatique reconnaissent le rôle précieux que les peuples autochtones et leurs connaissances traditionnelles jouent dans la construction de sociétés résilientes.

Les savoirs écologiques traditionnels ou locaux sur le fonctionnement de l'écosystème et de l'interaction entre

la nature et la société sont inestimables, certes, mais leur intégration dans les évaluations et la prise de décision reste souvent entravée. Les connaissances traditionnelles sont également menacées par le conflit des utilisations commerciales des ressources naturelles et par le tissu social fragile de certaines sociétés (Tinoco et al., 2014). Une réponse à ces menaces consiste à s'assurer que les détenteurs de connaissances sont pleinement et efficacement impliqués dans les évaluations, la prise de décision, la mise en œuvre et la gestion. Plus généralement, l'attribution d'une SfN axée sur les communautés est un moyen de mettre en évidence la manière dont ces solutions s'intègrent dans le développement durable local (voir encadré 6.2).

Tout aussi important pour la connaissance elle-même est le moyen par lequel elle est communiquée. Des méthodes visant à tester la capacité des SfN à fournir des services hydrauliques, par exemple, peuvent être traduites en manuels, qui peuvent être compris par les ingénieurs et les écologistes, mais destinés à guider les décideurs politiques et les gestionnaires et entrepreneurs locaux qui appliqueraient une SfN donnée dans la pratique (Hulsman, 2011). Le défi de la connaissance peut être encore plus important dans de nombreux pays en développement où la capacité technique de mise en œuvre des approches alternatives est souvent plus faible que dans les pays développés (Narayan, 2015 ; Jupiter, 2015). Cependant, il existe des sources d'apprentissage et des approches à imiter. Par exemple, dans la région du Mékong, la Banque asiatique de développement et le Centre international pour la gestion de l'environnement ont créé une trousse d'outils en sept volumes pour aider les autorités municipales, les ingénieurs d'infrastructure, les spécialistes en évaluation environnementale, les décideurs, les urbanistes, les spécialistes en sécheresse et en inondation et les représentants communautaires locaux pour mieux comprendre où et comment ils peuvent intégrer les SfN dans l'urbanisme durable et résilient (ADB, 2015).

Des exemples plus divers de prestation par rapport aux indicateurs de performance pourraient étayer une base de faits plus solide afin de plaider davantage en faveur des SfN. Des informations adaptées aux besoins des acteurs sont nécessaires et peuvent inclure la valeur économique présentée, la réduction des risques potentiels, les bénéfices générés, etc., ainsi qu'un large éventail de valeurs sociales et culturelles liées aux écosystèmes et à leur gestion à différentes échelles spatiales (Brown et Fagerholm, 2015 ; Plieninger et al., 2015 ; Raymond et Kenter, 2016). En plus d'un diagnostic de la proposition de la valeur potentielle et des obstacles à y investir et à la mise en œuvre, la SfN spécifique, l'attention à l'engagement de la communauté dans l'évaluation, la conception et la mise en œuvre de la SfN sont également des parties essentielles à ce processus.

### 6.5.2 Lacunes en matière d'information et de recherche

Des lacunes d'information claires et des besoins de recherche ont été identifiés lors de la préparation de ce rapport. Ces éléments comprennent l'amélioration :

- De la compréhension des performances hydrologiques des différents types et sous-types d'écosystèmes, y compris sous différents régimes de gestion, afin de permettre de meilleures projections de la performance des SfN dans les sites locaux spécifiques ;
- La connaissance de l'hydrologie de l'UTCAT, en particulier ses impacts à grande échelle ;
- La compréhension des impacts de la perte et de la dégradation des écosystèmes sur l'hydrologie ;
- La compréhension des rapports entre les écosystèmes, l'eau et les services écosystémiques pour mieux étayer les prédictions des impacts des changements (positifs ou négatifs) des écosystèmes sur le bien-être humain ;
- Des évaluations des performances hydrologiques et socioéconomiques des applications des NFS, et le partage de ces connaissances, y compris des défaillances des NFS. Raymond et al. (2017) suggèrent une feuille de route potentielle pour évaluer la performance des NFS ;
- Des indicateurs de l'efficacité et de l'efficacité des SfN, en particulier celles qui permettent de mettre en relation les écosystèmes, l'hydrologie et les résultats économiques et sociaux ;
- Des lignes directrices pour la conduite d'analyses globales des coûts et des bénéfices comprenant des avantages partagés non liés à l'eau ;
- Les outils de communication destinés aux SfN ;
- L'intégration des écosystèmes dans la planification de l'utilisation des terres et la GIRE ; et
- La compréhension des facteurs sociopolitiques de la politique et de la gestion des ressources en eau pour mieux comprendre et identifier les éléments déclencheurs efficaces destinés à la stimulation des changements transformationnels.

Suivant les indications consignées dans toutes les éditions précédentes du *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*, il est nécessaire d'améliorer systématiquement les données concernant la disponibilité, la qualité de l'eau ainsi que les risques, et ni moins ni plus, car ces éléments se rapportent aux SfN et leurs avantages. De meilleures données sont nécessaires pour le statut et les tendances de tous les écosystèmes liés à l'eau. Cependant, une remarque particulière est faite de la très faible disponibilité des données relatives aux sols compte tenu de leur influence sur l'hydrologie, leur importance pour la sécurité alimentaire et en particulier la prolongation de leur formation et donc de leur reconstitution par rapport aux autres types d'écosystèmes, qui peut s'étendre sur des siècles (FAO/ITPS, 2015a). Toutefois, une meilleure base scientifique pour la gestion, la régulation et la politique de l'eau, ne sortira pas simplement de l'obtention de plus de données et des informations sur d'autres indicateurs, mais de la reconnaissance selon laquelle un changement de perception vers des échelles plus larges sur le plan temporel, spatial et organisationnel est également nécessaire (Bedford et Preston, 1988).

## L'INITIATIVE ÉQUATEUR : DÉVELOPPER LES SfN EN IMPLIQUANT LES COMMUNAUTÉS AUTOCHTONES

L'Initiative Équateur est un partenariat qui rassemble les Nations Unies, les gouvernements, les Universités et les organisations de la société civile allant des ONG internationales aux organisations de base et des peuples autochtones pour renforcer les capacités et faire mieux connaître les efforts qui promeuvent les SfN vers le développement durable local dans plusieurs pays. Le Prix Équateur y relatif est décerné tous les deux ans pour récompenser les efforts remarquables déployés par la communauté pour réduire la pauvreté grâce à la conservation et à l'utilisation durable de la biodiversité. Le Centre du savoir de l'Initiative Équateur possède également une base de données des SfN et une carte interactive.

De nombreux projets impliquent la redécouverte de systèmes ancestraux de gestion de l'eau ainsi que des techniques traditionnelles de récupération de l'eau de pluie pour améliorer la qualité de l'eau potable. Le rétablissement de la collecte des eaux pluviales peut être nécessaire en raison des nouvelles pressions, telles que les déversements d'hydrocarbures et les rejets d'eaux usées qui inhibent l'utilisation de certaines rivières dans le cas de l'Équateur ou en raison de l'intrusion d'eau saline dans le cas de la côte de Barisal au Bangladesh.

La collecte de l'eau à une échelle plus large peut également être importante pour maintenir les moyens de subsistance et les habitats. Le Centre pour le développement en Inde soutient l'éducation communautaire relative aux systèmes ancestraux de survie. Pour cette raison, un projet de démonstration avec des structures de gouvernance communautaire impliquant la régénération et le maintien des comités villageois, combiné à l'augmentation des revenus et à la sécurité des moyens de subsistance, a été conçu pour un meilleur équilibre entre les humains et la nature.

La gestion des bassins hydrographiques comprend également la préservation et la réhabilitation de la couverture végétale indigène, comme dans le cas du fleuve Éthiopie au Nigéria, où ces initiatives ont permis d'atténuer les effets de l'érosion et de l'envasement des chenaux au niveau des cours supérieurs du fleuve et à relier les sections fragmentées et les réserves végétales autochtones.

Les projets communautaires qui travaillent en particulier avec les peuples autochtones présentent des moyens réalistes qui permettent de relever les enjeux futurs liés au manque croissant de la fiabilité des sources en eau, en raison de la pollution ou d'autres changements dans les régimes hydrologiques. Les aménagements hydrauliques communautaires favorisent un ensemble de solutions plus diversifiées et adaptées localement à la gestion de l'eau et des ressources naturelles, et exploitent les connaissances existantes et de plus en plus en voie de disparition sur l'environnement local et comment utiliser durablement ses ressources grâce aux solutions intrinsèquement basées sur la nature.

Source : Initiative Équateur (s.d.).

Contribution de Marianne Kjellén (PNUD).

## 6.6 Un cadre commun et des critères d'évaluation des options

L'adoption des SfN fait face à un défi bien reconnu. C'est celui des divers secteurs ou sous-secteurs de l'eau qui ont tendance à se servir de leurs propres méthodes spécifiques d'évaluation, de suivi et d'évaluation, y compris pour évaluer le retour sur investissement au fil du temps. L'élaboration et la mise en œuvre de critères communs par rapport auxquels les SfN et les autres options de gestion des ressources en eau sont évaluées, constitue une exigence prioritaire qui permet une prise en compte équitable des coûts et des avantages des options. Cohen-Shacham et al. suggèrent des critères d'évaluation de la viabilité des SfN, tandis que Raymond et al. (2017) donnent un examen détaillé des indicateurs consacrés à l'évaluation et au suivi, plusieurs desquels seraient également pertinents pour d'autres options de gestion de l'eau. Des travaux en cours sur l'élaboration de critères et de normes communs

permettant d'évaluer les potentiels investissements relatifs aux SfN, comparés aux options des infrastructures grises, ont été brièvement abordés dans la section 6.2 (voir également encadré 6.1). Des critères généraux communs pour une évaluation des options de la gestion des ressources en eau (exemple solutions vertes contre grises) peuvent être élaborés sur une base de cas par cas. L'inclusion complète de tous les avantages hydrologiques et autres avantages partagés ainsi que la gamme complète des coûts et avantages des services écosystémiques (pour toute option) sont une exigence clé. Toutefois, il est probable que des critères plus détaillés pour les applications dans des domaines clés (exemple les infrastructures urbaines, l'agriculture et la DRR) soient également nécessaires. Ceci nécessite la mise en place d'un consensus entre les différents groupes d'acteurs concernés et, par conséquent, d'autres détails ne sont pas proposés ici. Un cadre et des critères communs pour l'évaluation de toute option constitueront des contributions essentielles à la réalisation de la durabilité et de l'équité dans les résultats de la gestion des ressources en eau.

7

# RÉALISER LE POTENTIEL DES SfN EN MATIÈRE D'EAU ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



Une gratte-ciel jardiné à Sydney (Australie)



WWAP | David Coates, Richard Connor,  
Angela Renata Cordeiro Ortigara,  
Stefan Uhlenbrook et Engin Koncagül

En guise de conclusion, le présent *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau* (WWDR) conclut que les SfN ont le potentiel d'apporter, dans plusieurs domaines, une contribution considérable, unique et essentielle en vue d'assurer la durabilité des ressources en eau et de réaliser divers objectifs liés à la gestion de l'eau. À l'heure actuelle, ce fait reste largement sous-estimé.

Ce chapitre tire des conclusions relatives aux trois principales questions concernant les SfN:

- Quel est le statut actuel des applications des SfN?
- Quelles sont les perspectives de pouvoir les appliquer ?
- Qu'est-ce qui doit changer afin que ce potentiel soit réalisé ?

S'appuyant sur les conclusions et les enseignements tirés des chapitres précédents, un aperçu de l'état actuel de la contribution des SfN à la gestion des ressources en eau est présenté, suivi d'une évaluation de leur contribution potentielle aux enjeux actuels et futurs en matière de gestion des ressources en eau. Vient par la suite une description des principaux changements devant être effectués afin de tirer le meilleur parti des SfN. Le chapitre se termine en démontrant comment les SfN en matière de gestion des ressources en eau contribuent également à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030 et des Objectifs de développement durable.

Certes, ce rapport évalue la disponibilité, la qualité et les risques liés à l'eau dans des chapitres distincts (2, 3 et 4 respectivement), tout en reconnaissant les liens qui existent entre eux, mais un point essentiel demeure que la plupart des SfN offrent simultanément des avantages dans ces trois domaines. Il est rare que les SfN soient déployées pour un but unique. De plus, elles sont généralement préférées parce qu'elles améliorent le rendement global du système, y compris le renforcement de la résilience. En outre, tous les chapitres précédents ont mis en exergue les avantages



partagés considérables qu'offrent généralement les SfN, au-delà des résultats liés à l'eau, tels que l'amélioration des résultats relatifs à la biodiversité, les valeurs des paysages, les avantages sociaux et économiques et la durabilité du système. Ces avantages partagés orientent souvent les évaluations individuelles des choix en faveur des SfN et plaident en faveur de leur renforcement global.

## 7.1 Où en sommes-nous ?

Certes, il n'y a pas eu une évaluation quantitative complète de l'application actuelle des SfN dans le monde, mais deux points sont bien établis.

Tout d'abord, historiquement, il y a eu une application considérable des SfN dans la gestion de l'eau dans ses trois dimensions : disponibilité de l'eau, qualité de l'eau et risques liés à l'eau. Ce sujet n'est pas nouveau. Il existe des communautés de pratique averties, expérimentées et enthousiastes dans de nombreux secteurs ou domaines. Dans la plupart des cas, les SfN ne sont pas principalement portées par les lobbyistes écologistes. Il existe des cas remarquables où les innovations en termes de SfN et leur mise à l'échelle ont dirigé des intérêts sectoriels. Cela est de bon augure pour l'adoption à grande échelle, car donnant la preuve de l'acceptation de leur utilité. Par exemple : dans le domaine agricole, les applications sont généralisées et menées par les agriculteurs et/ou leurs institutions d'appui et l'intégration des SfN dans les cadres de politique agricole a été démontrée par les organismes agricoles ; les SfN sont déjà intégrées dans certaines approches du monde des affaires en raison de leur contribution à un modèle d'entreprise durable ; et les infrastructures vertes jouissent d'une longue tradition de déploiement portée par des ingénieurs de génie civil éclairés et des initiatives communautaires traditionnelles. Les institutions environnementales, en particulier au niveau national, sont exceptionnellement qualifiées pour présenter de manière proactive les SfN qui abordent également les enjeux qui se posent à d'autres secteurs et pour identifier de manière coopérative des résultats gagnant-gagnant. Cela nécessite qu'on élargisse leur champ d'application qui a de longue date été la conservation de l'environnement « naturel » par le biais de règles et de réglementations, afin d'accroître également le soutien à des progrès écologiquement viables dans les systèmes gérés ou ayant subi une forte modification.

Deuxièmement, il est désormais bien établi que les SfN suscitent une attention croissante. À titre d'exemple, les investissements dans les systèmes de PSE, mis en œuvre au moyen, par exemple, des fonds de conservation et des fonds pour l'eau, augmentent (voir chapitres 3 et 5) ; l'accroissement rapide des investissements dans les infrastructures vertes urbaines témoigne de leur adoption croissante ; et les marchés émergents des « obligations vertes » présentent un potentiel prometteur pour la mobilisation des financements pour les SfN et, notamment, démontrent que les SfN peuvent bien fonctionner

lorsqu'elles sont évaluées sur la base de critères rigoureux normalisés relatifs à la performance de l'investissement (voir chapitres 5 et 6). Comme on pouvait s'y attendre, les SfN sont devenues un courant dominant dans les accords multilatéraux sur l'environnement au moment où ceux-ci évoluent vers l'établissement d'un lien plus explicite entre l'environnement et le développement durable, en particulier au cours des dix dernières années (voir chapitres 1 et 6). Il est important de noter que les SfN sont maintenant intégrées dans d'autres forums politiques pertinents, notamment en ce qui concerne la sécurité alimentaire et l'agriculture durable (voir chapitre 2), la réduction des risques de catastrophe (voir chapitre 4) et le financement (voir chapitre 6).

Il ressort clairement de tous les chapitres que les coûts et les avantages des SfN peuvent se comparer favorablement aux autres choix d'infrastructures grises, en particulier si l'on en considère les multiples avantages partagés à moyen et à long terme, bien que le chapitre 6 souligne que cela n'est pas toujours bien établi, et qu'un meilleur examen, un meilleur suivi et évaluation des SfN sont nécessaires pour ne pas compromettre les progrès dans ce domaine.

Bien que l'équilibre optimal entre l'investissement dans les infrastructures vertes et grises ne soit pas bien établi et particulièrement spécifique aux sites, les données disponibles suggèrent que l'investissement dans l'infrastructure verte ne représente qu'une fraction (peut-être moins de 1 %) de l'investissement total dans la gestion des ressources en eau. De plus, il reste de nombreux exemples de politiques, d'interventions de financement et de gestion dans lesquels les SfN sont absentes, même lorsqu'elles présentent un choix évident. Surmonter les enjeux importants de la mise à l'échelle des SfN, qui vont de la prédominance écrasante des solutions d'infrastructures grises « conventionnelles » à un manque général de connaissance et de compréhension de ce que les SfN peuvent offrir, implique essentiellement la création d'un environnement propice à l'évaluation des SfN, et où elles sont financées et mises en œuvre de manière appropriée, dans des conditions plus équitables (voir chapitre 6). Les praticiens des SfN doivent jouer leur rôle en améliorant la base de connaissances, y compris en procédant à des évaluations plus solides des SfN, afin d'accroître la confiance dans les SfN et la capacité de les évaluer et de les mettre en œuvre.

## 7.2 Jusqu'où pouvons-nous aller ?

Ce rapport conclut qu'un déploiement accru des SfN est essentiel pour relever les principaux enjeux contemporains en matière de gestion des ressources en eau, à savoir maintenir et améliorer la disponibilité de l'eau et qualité de l'eau, tout en réduisant les risques connexes. Il est clairement établi dans la littérature scientifique et par consensus politique que, si les SfN ne sont pas adoptées plus rapidement, la sécurité hydrique continuera à diminuer, et probablement à un rythme rapide. L'évaluation

du potentiel relatif des approches vertes par rapport aux approches grises peut non seulement être difficile, mais également distraire. Suivant le postulat présenté dans ce rapport, les deux approches sont déjà et devraient être complémentaires. Néanmoins, les SfN sont essentielles à la réalisation des progrès dans un certain nombre de domaines où les ressources en eau constituent un défi à relever et sont la seule option viable pour relever certains enjeux majeurs à long terme. Les précédents Rapports sur la mise en valeur des ressources en eau, entre autres, n'ont eu de cesse de soutenir que la sécurité hydrique durable ne sera possible que si de nouvelles approches sont adoptées. Les SfN offrent un moyen essentiel de viser plus que le maintien du statu quo. Cependant, la nécessité d'un déploiement accru des SfN est actuellement sous-estimée. La justification de ces demandes découle de nombreux facteurs, notamment :

- La conservation et la restauration des écosystèmes constituent la première action à mener pour renverser les tendances actuelles dans la dégradation des écosystèmes et leurs impacts sur l'eau, qui sont devenus un facteur déterminant de l'état actuel des ressources en eau (voir prologue), notamment par l'atténuation des risques de catastrophes liées à l'eau, exacerbés par les changements climatiques et d'autres changements mondiaux (voir chapitre 4).
- L'évaluation du potentiel des SfN dans la lutte contre la pénurie d'eau constitue probablement l'illustration la plus convaincante de son importance. Les gains potentiels à travers une meilleure gestion de l'interface sol-végétation sont colossaux. Le rétablissement des bases écologiques de la production végétale et animale comme moyen d'améliorer la sécurité hydrique pour les besoins de l'agriculture et de modérer ses externalités qui subissent l'influence de l'eau est considéré comme l'approche à privilégier pour ramener l'agriculture dans des limites durables et assurer la sécurité alimentaire (FAO, 2011b ; 2014a). Les évaluations rapportées au chapitre 2 suggèrent que l'application élargie des SfN (impliquant principalement une amélioration de la gestion des sols, de la végétation et des paysages) aux systèmes de cultures pluviales existants offre des gains estimés équivalents à environ 50 % de la production agricole actuelle. Du point de vue de l'empreinte hydrique, cela représente une amélioration équivalente à 35 % du total des prélèvements d'eau actuels dans le monde. Par conséquent, et de manière simpliste, les économies d'eau engendrées par ces SfN à elles seules pourraient être supérieures à l'augmentation de la demande d'eau prévue d'ici à 2050 (voir prologue), relevant simultanément (au niveau mondial) le défi sécurité hydrique pour sécurité alimentaire, mais rendant également l'eau disponible pour d'autres utilisations, et réduisant potentiellement la demande en eau à l'échelle mondiale. Les avantages socioéconomiques associés sont également considérables, étant donné que la plupart des familles d'agriculteurs dans les pays en développement tirent leurs moyens de subsistance des cultures pluviales. Des approches de SfN similaires offrent l'opportunité d'améliorer davantage l'efficacité dans l'utilisation de l'eau aux fins d'irrigation. En outre, ces approches de SfN améliorent généralement la qualité de l'eau, tout en renforçant la résilience du système et, par voie de conséquence, en réduisant les risques. Les cultures pluviales dépendent très peu (le cas échéant) des infrastructures grises. Par conséquent, cet exemple à lui seul permet de conclure que les SfN sont en quelque sorte un complément mineur aux solutions d'infrastructures grises ; les progrès sont réalisés en gérant simplement les composantes de l'écosystème (les sols et la couverture terrestre dans le cas d'espèce) de manière à ce que l'eau de pluie arrive et reste là où elle est nécessaire, notamment dans la zone racinaire de la plante.
- Les SfN sont les principaux, sinon les seuls, moyens faisables pour aborder la dégradation des terres et la sécheresse à grande échelle (voir chapitres 2 et 4 – bien que dans la pratique beaucoup de SfN utilisent des approches similaires pour améliorer l'agriculture pluviale comme cela a été présenté ci-dessus). Cela fait des SfN un élément central pour, par exemple, soutenir les moyens de subsistance dans les zones arides et lutter contre la désertification en réhabilitant la productivité des terres – un défi prioritaire du développement durable et de la réduction de la pauvreté.
- Les principaux impacts des changements climatiques sur les humains sont véhiculés par l'eau (ONU-Eau, 2010) et se produisent principalement à travers des changements liés à l'eau qui se produisent dans les écosystèmes et sont associés au climat (GIEC, 2014). Cela implique que les principaux moyens d'adaptation aux changements climatiques passent par une adaptation basée sur l'écosystème qui améliore la résilience des écosystèmes à ces changements liés à l'eau qui sont associés au climat – c'est-à-dire le déploiement des SfN. C'est ce qui explique l'attention croissante portée aux SfN dans les mesures d'adaptation aux changements climatiques. Les chapitres 2, 3 et 4 fournissent tous des exemples de SfN portant sur la disponibilité, la qualité et les risques liés à l'eau, respectivement, dont la plupart répondent également à la nécessaire adaptation aux changements climatiques. En outre, parce que de nombreuses SfN en matière d'adaptation aux changements climatiques impliquent la restauration du carbone dans les paysages (par exemple le carbone du sol ou des forêts), elles contribuent également à l'atténuation des changements climatiques. Cet avantage n'est pas sans importance étant donné que le changement dans l'utilisation des terres est à l'origine d'environ 25 % des émissions anthropiques mondiales de gaz à effet de serre à ce jour (FAO, 2014b).
- Aujourd'hui, il est largement reconnu que le déploiement d'infrastructures vertes urbaines revêt un immense potentiel. Il est possible d'étendre le réaménagement des infrastructures vertes ou de les intégrer dans une phase initiale de planification, et d'y associer une gestion améliorée des paysages urbains et périurbains, afin de parvenir à des établissements urbains durables ayant fait leurs preuves en matière de gestion des eaux urbaines et

de résilience, y compris la réduction des risques (voir chapitres 3, 4 et 6). L'eau, l'assainissement et l'hygiène (WaSH) représentent un autre domaine dans lequel les SfN offrent un potentiel important, bien que cela soit principalement dû à l'amélioration de la disponibilité de l'eau (voir chapitre 2), à l'amélioration de la qualité de l'eau (voir chapitre 3) et à la réduction des risques hydriques (voir chapitre 4). À titre d'exemple, la dégradation des écosystèmes est reconnue comme un obstacle majeur à la réalisation de l'accès universel à l'eau de boisson potable et, par conséquent, il est reconnu que les possibilités de restauration des écosystèmes constituent un moyen d'aller de l'avant (Banque mondiale, 2009). Les SfN qui impliquent des approches d'écoassainissement, telles que les toilettes sèches, offrent également la promesse d'éliminer quasiment les exigences d'utilisation de l'eau dans de nombreuses situations.

Les SfN contribuent à la création de meilleurs emplois plus durables en générant des avantages directs découlant dans l'ensemble d'une meilleure gestion des ressources en eau, générant ainsi des opportunités d'emploi dans un large éventail de secteurs et libérant le potentiel de création d'emplois indirects grâce à son effet multiplicateur (WWAP, 2016). Toutefois, elles peuvent tout aussi créer directement des emplois et des moyens de subsistance. À titre d'exemple, les mécanismes de PSE permettent de distribuer et de répartir le financement de la gestion des ressources en eau entre un large éventail de bénéficiaires – notamment les communautés pauvres des zones rurales (voir chapitre 5). Les SfN qui contribuent à l'amélioration de la rentabilité, de la résilience et de la durabilité de l'agriculture offrent d'importantes possibilités d'amélioration de la petite agriculture familiale en particulier – largement considérée comme étant l'un des moyens les plus importants de sortir les populations de la pauvreté dans la plupart des pays en développement.

### 7.3 Comment y parvenir ?

Si le maintien du statu quo était une option envisageable, nous n'aurions pas besoin du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) ou même du Programme de développement durable à l'horizon 2030. Les précédentes éditions du WWDR n'ont eu de cesse de plaider pour un changement transformationnel dans notre façon de gérer l'eau. La plupart des forums politiques y afférents s'accordent sur ce point. La présente édition du WWDR réitère la même conclusion, mais note que les SfN offrent un important moyen de réaliser le nécessaire changement transformationnel. Il soutient que l'absence de reconnaissance adéquate du rôle des écosystèmes dans la gestion de l'eau est un facteur clé qui renforce le besoin de changement transformationnel. Ce changement transformationnel ne peut plus se contenter d'être ambitieux – le changement doit rapidement s'accélérer et, plus important encore, se traduire par des politiques et

des mesures pleinement mises en œuvre. Le présent rapport conclut que nous avons bien entamé ce processus, quoiqu'il arrive un peu tardivement. Mais le chemin à parcourir reste encore bien long.

Ce changement transformationnel doit s'appuyer sur une approche beaucoup plus holistique et systémique de la façon dont nous gérons l'eau. Rester dans le maintien du statu quo revient à percevoir l'eau comme un problème linéaire (en amont-en aval) qui porte principalement sur la gestion de l'offre et de la demande d'eaux de surface et d'eaux souterraines, généralement de manière séparée et principalement pour un usage humain direct. Les compromis avec les écosystèmes sont reconnus, mais sont considérés comme secondaires aux besoins en eau pour la consommation humaine. L'eau est gérée pour un sous-ensemble de ses valeurs et non pour en tirer un maximum de bénéfices à l'échelle du système. La réponse conventionnelle à l'amélioration de l'approvisionnement et de la qualité de l'eau, en luttant contre les changements climatiques et en réduisant les risques de catastrophes a consisté à construire davantage d'infrastructures grises et, dans les cas où elles sont reconnues, les SfN sont considérées comme un avantage marginal et non une solution de premier ordre. Cependant, une approche écosystémique reconnaît que l'eau circule à travers et entre les paysages dans une série de cycles interconnectés allant de petites échelles à des échelles régionales, voire mondiales, et que beaucoup vont au-delà de la perspective amont-aval. Par exemple, elle met en exergue le déficit actuel de considération pour la gestion des impacts de l'utilisation des sols sur le recyclage de l'humidité à l'extérieur du bassin, remettant ainsi en question la notion de bassin hydrographique comme la seule unité de gestion la plus appropriée (voir chapitres 1, 2 et 6) – bien que les limites des bassins hydrographiques restent certainement beaucoup plus appropriées que les unités administratives, qui sont encore couramment utilisées pour la gestion des ressources en eau. Les SfN s'appesantissent sur la gestion des systèmes, notamment les approches intégrées d'infrastructures vertes-grises, et l'optimisation des avantages à l'échelle du système, par exemple :

- L'utilisation des écosystèmes pour récupérer l'eau là où elle est nécessaire, là où elle est la plus sûre ; la réduction des problèmes de qualité de l'eau à la source ; et l'amélioration des avantages socioéconomiques globaux à l'échelle du système, y compris la durabilité et la résilience ;
- La disponibilité de l'eau ambiante pour les besoins humains dans les paysages n'est pas considérée comme prédéterminée par des facteurs climatiques indépendants de notre influence, mais peut être gérée, par exemple à travers la gestion de la couverture terrestre pour influencer le recyclage de l'eau ou à travers une amélioration de la gestion des sols ;
- Il ne s'agit pas simplement d'une question de répartition entre des utilisations concurrentes ; la disponibilité de l'eau, la qualité et les risques pour certains utilisateurs peuvent être améliorés tout en améliorant simultanément les avantages pour les autres ;

- Le rôle et la nécessité des infrastructures grises sont reconnus, tout comme leurs limites, y compris le fait qu'elles peuvent augmenter considérablement les risques. L'un des rôles des SfN consiste à remédier à ces limites et à accroître le rendement hydrologique et économique des solutions grises tout en offrant des possibilités d'amélioration des avantages sociaux ;
- Le stockage de l'eau ne se perçoit pas uniquement comme un moyen d'optimiser le rendement des structures artificielles, mais plutôt sous l'angle de la manière dont le stockage de l'eau est mieux géré à travers les paysages ruraux et urbains, en mettant l'accent sur les systèmes interconnectés (réservoirs, zones humides et aquifères) caractéristiques – la priorité est de stocker l'eau là où elle est la plus sûre et peut être utilisée à diverses fins, en mettant l'accent sur la résilience des systèmes, et en veillant à ne pas trop se concentrer sur la capacité de stockage artificielle ;
- Il est primordial de renforcer la résilience. Les approches de la gestion des risques, y compris les risques liés aux catastrophes et aux changements climatiques, devraient s'attaquer aux causes profondes systémiques de ces risques : changement des écosystèmes ;
- Il ne faut non seulement prendre en compte les résultats liés à l'eau, mais également les avantages globaux à l'échelle du système, y compris les avantages partagés de toutes les options prises collectivement ;
- Les systèmes sont mieux gérés à travers l'implication de plusieurs intervenants et l'utilisation des SfN en vue de parvenir à un consensus sur les résultats gagnant-gagnant tout en gérant les compromis ; et
- S'attaquer aux facteurs de manière à traiter les causes sous-jacentes plutôt que les symptômes – une compréhension des facteurs directs et indirects de la dégradation et de la perte des écosystèmes est cruciale pour identifier les domaines dans lesquels une attention aux services écosystémiques peut aider à améliorer la gestion des ressources en eau.

Le maintien du statu quo perpétue des politiques fragmentées et inefficaces – sonnait le glas des résultats durables en matière d'eau identifiés dans la plupart des précédents WWDR. De nombreux forums politiques ont reconnu la nécessité d'intégrer les politiques dans de multiples domaines et échelles politiques, non seulement dans les programmes liés à l'eau, mais aussi en rapport avec les liens qui existent entre ces politiques et les besoins sociaux, économiques et environnementaux. Le couronnement de cette tendance s'est traduit par l'élaboration du Programme de développement durable à l'horizon 2030 qui propose une approche mieux intégrée par rapport à son prédécesseur, les Objectifs du Millénaire pour le développement, en reconnaissant que les objectifs et cibles interdépendants doivent être réalisés collectivement. Les SfN offrent aux États Membres un mécanisme, entre autres, de mise en œuvre de ces approches intégrées en mettant en relation les piliers environnementaux, économiques et sociaux du développement durable. L'approche technique pour évaluer

et articuler une telle interdépendance consiste à utiliser un cadre de services écosystémiques. Il est essentiel que les gouvernements réagissent non seulement en harmonisant les politiques et la réglementation entre les domaines politiques, mais aussi en examinant la politique à grande échelle pour s'assurer que les orientations ou la réglementation sont claires et soutiennent, plutôt que de restreindre, l'amélioration de la prise de décisions jusqu'au niveau local.

La mise en œuvre des SfN peut impliquer la participation de nombreux groupes de parties prenantes différents, des gouvernements aux ONG et aux groupes de citoyens (par exemple les associations d'agriculteurs locaux, les groupes de propriétaires fonciers, les intérêts du secteur privé, etc.). Les obstacles institutionnels à la promotion du dialogue intersectoriel sont bien connus (voir chapitre 6) et ont été clairement relevés à maintes reprises dans les précédentes éditions du WWDR. Réaliser le changement institutionnel requis reste une tâche difficile, et ce n'est pas moins le cas pour les SfN. Toutefois, il est important de noter que les SfN offrent un moyen d'encourager ce changement par la recherche d'un consensus sur les objectifs généraux du système et l'identification de résultats gagnant-gagnant entre des intérêts multiples. Les SfN offrent une passerelle entre les secteurs et leurs intérêts.

La réorientation des investissements vers des approches vertes sera nécessaire pour améliorer l'efficacité de ces investissements et soutenir la performance et les retours sur investissement des infrastructures grises. L'une des solutions, à ce titre, serait donc de transformer les investissements afin que les SfN puissent pleinement contribuer aux gains d'efficacité, y compris en maximisant les avantages partagés et les améliorations potentielles à l'échelle du système. Le chapitre 6 met en lumière certaines évolutions prometteuses à cet égard, notamment l'émergence d'évaluations rigoureuses de la viabilité financière comparative des investissements dans les infrastructures vertes et grises. On peut se réjouir de ce que ces évaluations aient souvent identifié les approches vertes comme un investissement viable, renforçant davantage le bien-fondé de l'efficacité des approches s'appuyant sur les SfN.

Bien qu'un changement transformationnel soit nécessaire à divers niveaux de politique et de financement, tôt ou tard, les décisions concernant les interventions relatives à la gestion de l'eau seront principalement prises au niveau des différents sites. L'objectif doit être de minimiser les coûts et les risques, de maximiser les rendements et la robustesse du système, tout en offrant une performance optimale « apte à l'emploi ». L'un des rôles des politiques devrait être de permettre la prise de décisions appropriées à cet égard. La persistance de la partialité en faveur des infrastructures grises souligne la nécessité de reconnaître les synergies entre les infrastructures vertes et grises, et la nécessité d'un cadre commun permettant d'évaluer les options disponibles (voir chapitres 1 et 6). Ce n'est que dans un cadre commun qu'il est possible de déterminer quelle option, ou plus généralement quelle



Lac de Naivasha (Kenya)

combinaison d'options, est la plus appropriée. Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser des critères, indicateurs et méthodologies communs pour les évaluations, les comparaisons et la prise de décisions. L'élaboration d'un tel cadre commun et les outils ainsi que la capacité pour le soutenir, constitue un besoin à satisfaire en priorité pour traduire le changement transformationnel de politique en mise au point de solutions optimales au niveau local.

L'agriculture se distingue comme un secteur clé où les opportunités de changement transformationnel se démarquent, en raison de sa prédominance dans l'utilisation de l'eau, des liens entre l'eau et la sécurité alimentaire, du potentiel de réduction de la pauvreté et des opportunités de déploiement des SfN. La discussion sécurité hydrique pour la sécurité alimentaire doit s'étendre complètement au-delà de sa focalisation routinière excessive sur l'irrigation. Les possibilités d'amélioration de l'utilisation de l'eau d'irrigation par des approches d'infrastructures grises (irrigation goutte à goutte par exemple) et des mesures axées sur la demande (telles que l'adoption de cultures plus adaptées au niveau local, le développement d'opportunités pour traiter l'eau virtuelle dans le commerce des denrées alimentaires, l'amélioration de la productivité de l'eau des cultures grâce à l'amélioration génétique, etc.) sont bien reconnues, tout comme les possibilités d'expansion de l'irrigation dans certaines régions. Cependant, tel que cela a été mentionné ci-dessus, les meilleures opportunités résident dans l'amélioration

de la disponibilité et de l'approvisionnement en eau grâce à l'adoption plus généralisée des SfN, en particulier dans les systèmes pluviaux, avec des gains complémentaires en termes de qualité de l'eau et de réduction des risques. Tandis que certains forums politiques reconnaissent ces opportunités (FAO, 2011b ; 2014a), d'autres continuent de sous-estimer l'importance des écosystèmes. La discussion sur le lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation (FAO, 2014c) constitue un exemple frappant de la nécessité d'intégrer plus explicitement les écosystèmes (comme le lien « eau-écosystème-énergie-alimentation), parce que les écosystèmes déterminent la façon dont les principales interrelations entre l'eau, l'énergie et les aliments, et les SfN offrent un moyen essentiel permettant de fédérer les intérêts potentiellement contradictoires impliqués (voir le Prologue et chapitre 2).

Les analyses de scénarios ont constamment montré que, dans de nombreux domaines, la voie vers une durabilité améliorée, mais aussi vers une prospérité économique à plus long terme, passe par l'intégration complète de la durabilité environnementale. Un résultat très positif de l'analyse des scénarios préliminaires des ressources en eau effectuée par Burek et al. (2016) est que la voie de la *sustainability*<sup>20</sup> aboutit non seulement à de meilleurs résultats en matière

<sup>20</sup> Le scénario *sustainability* (durabilité) décrit un monde qui progresse relativement bien vers la durabilité, avec des efforts soutenus pour atteindre les objectifs de développement, tout en réduisant l'intensité des ressources et la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles.



d'environnement, de sécurité hydrique et de sécurité alimentaire, mais aussi contrairement à certaines croyances, offre les avantages à moyen terme les plus importants et les plus rapides en termes de développement économique. Par exemple, dans le cadre du scénario de remplacement *regional rivalry*<sup>21</sup>, le PIB mondial culminera à 220 billions de dollars américains d'ici à l'année 2100. En revanche, il s'élèvera à 570 billions de dollars américains selon le scénario *middle-of-the-road*<sup>22</sup> et à 650 billions de dollars américains selon le scénario *sustainability*, avec un modèle similaire pour le PIB par habitant. Ce résultat est cohérent avec les conclusions actuelles selon lesquelles la durabilité environnementale n'est pas une contrainte au développement social et économique, mais une exigence pour y parvenir. Les SfN offrent un moyen compréhensible et pratique pour l'opérationnalisation des politiques et de la gestion des ressources en eau en vue d'atteindre cet objectif.

<sup>21</sup> Dans le scénario *regional rivalry* (rivalité régionale). Le monde est divisé en régions caractérisées par une pauvreté extrême, des poches de richesse modérée et une grande partie des pays qui luttent pour maintenir le niveau de vie d'une population en forte croissance. Les pays se concentrent sur la réalisation des objectifs en matière d'énergie et de sécurité alimentaire dans leur propre région, et le commerce international, y compris les marchés des ressources énergétiques et agricoles, se trouve sérieusement limité.

<sup>22</sup> Le scénario *middle-of-the-road* (intermédiaire) suppose que le développement mondial progresse selon les tendances et les paradigmes passés, de sorte que les tendances sociales, économiques et technologiques ne se détournent pas nettement des modèles historiques (c'est-à-dire le maintien du statu quo).

## 7.4 Réaliser le Programme de développement durable à l'horizon 2030 à travers les SfN en matière de gestion des ressources en eau

Ce rapport conclut que les SfN ont un grand potentiel pour relever les enjeux actuels et futurs en matière de gestion des ressources en eau, comme en témoignent le Programme de développement durable à l'horizon 2030, les ODD et leurs Cibles.

Un résumé des conclusions des chapitres 1 à 5 en ce qui concerne la contribution potentielle des SfN aux ODD et à leurs objectifs est présenté dans les tableaux 7.1 et 7.2. Le tableau 7.1 résume la contribution potentielle des SfN à chacune des cibles relatives à l'eau dans le cadre de l'ODD 6 sur l'eau et l'assainissement par rapport aux options non-SfN pour atteindre la même cible. Étant donné que l'eau sous-tend la plupart des aspects sociaux et économiques des ODD, elle est largement reconnue comme transversale à la plupart des ODD et leurs cibles. Par conséquent, les contributions des SfN à l'ODD 6 se traduisent par d'autres avantages liés à l'eau pour d'autres ODD et leurs cibles, ainsi que des contributions provenant d'interventions autres que celles des SfN. Ces liens sont trop complexes pour être inclus dans le tableau 7.1, mais sont davantage examinés par ONU- Eau (2016a) et dans le prochain rapport de synthèse d'ONU-Eau sur l'ODD 6 (à paraître à la mi-2018). Les avantages partagés

non liés à l'eau fournis par les SfN et les moyens par lesquels ceux-ci contribuent à la réalisation d'autres ODD et leurs cibles sont résumés dans le tableau 7.2.

Les SfN peuvent apporter une grande contribution à la réalisation de la plupart des cibles de l'ODD 6 (voir tableau 7.1). Les domaines dans lesquels cette contribution se traduit par des impacts positifs particulièrement remarquables sur les autres ODD concernent la sécurité hydrique pour soutenir l'agriculture durable (ODD 2, notamment la Cible 2.4), la vie en bonne santé (ODD 3), la construction d'infrastructures (liées à l'eau) résilientes (ODD 9), villes et établissements humains durables (objectif 11) et la réduction des risques de catastrophe (ODD 11 et, en ce qui concerne les changements climatiques, ODD 13).

Un avantage considérable des SfN réside dans les avantages partagés qu'elles offrent, au-delà des résultats immédiats liés à la gestion de l'eau. Il s'agit notamment d'améliorer la résilience globale du système et les avantages sociaux et économiques associés à l'amélioration des valeurs économiques, culturelles, récréatives et esthétiques des paysages améliorés, ainsi qu'à la conservation de la nature. Ces avantages peuvent être substantiels et doivent être pris en compte dans les évaluations, les analyses coûts-avantages et, par conséquent, dans les politiques et la prise de décisions. Certains domaines dans lesquels ces avantages partagés génèrent des bénéfices particulièrement importants en termes de réalisation des ODD (voir tableau 7.2) concernent : les autres aspects de la promotion de l'agriculture durable (ODD 2) ; l'énergie durable (ODD 7) ; la promotion d'une croissance économique soutenue, inclusive et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous (ODD 8) ; d'autres aspects visant à rendre les villes et les établissements humains inclusifs, sûrs, résilients et durables (ODD 11) ; établir des modes de consommation et de production durables (ODD 12) ; prendre des mesures urgentes pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions (ODD 13) ; et en particulier par la promotion des résultats environnementaux globaux améliorés de même qu'en stoppant et en inversant la dégradation des terres et la perte de biodiversité (ODD 14 et 15). Les SfN offrent également d'importantes opportunités de renforcer les moyens de mise en œuvre et de revitaliser le Partenariat mondial pour le développement durable (ODD 17).

## 7.5 Coda

La nature de la relation entre les écosystèmes, l'hydrologie et le bien-être humain ne doit pas être aussi précaire que ce qui a été démontré dans certains cas d'histoire ancienne et récente. Au fur et à mesure que l'humanité trace sa trajectoire à travers l'Anthropocène, l'adoption des SfN devient nécessaire non seulement pour améliorer les résultats en matière de gestion de l'eau et assurer la sécurité hydrique, mais aussi pour garantir des avantages partagés essentiels à tous les aspects du développement durable. Certes, les SfN ne sont pas une panacée, mais ils joueront un rôle essentiel dans la construction d'un avenir meilleur, plus lumineux, plus sûr et plus équitable pour tous.

**Tableau 7.1** Contribution potentielle des SfN à la réalisation des cibles de l'ODD 6 sur l'eau et l'assainissement, et leur contribution potentielle à la réalisation d'autres Cibles\*

| ODD 6 : Assurer la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous   | Contribution potentielle des SfN à la Cible | Exemples de SfN  | Contribution potentielle des SfN aux autres Cibles de l'ODD 6 |
|--|---|--|---|
| Cibles   |   |  |   |
| 6.1 Assurer l'accès universel et équitable à l'eau potable, à un coût abordable  | Élevé                                       | Gestion des bassins hydrographiques, notamment la conservation des pratiques agricoles ; la récupération de l'eau ; les infrastructures vertes urbaines  | Élevé<br>6.3, 6.4, 6.6  |
| 6.2 Assurer l'accès de tous, dans des conditions équitables, à des services d'assainissement et d'hygiène adéquats et mettre fin à la défécation en plein air, en accordant une attention particulière aux besoins des femmes et des filles et des personnes en situation vulnérable   | Moyen                                       | Toilettes sèches, zones humides aménagées  | Moyen<br>6.1, 6.3, 6.6  |
| 6.3 Améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant nettement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau                   | Élevé                                       | Zones humides aménagées, infrastructures vertes urbaines, gestion des bassins hydrographiques (notamment la gestion des terres agricoles), les tampons riverains, les cours d'eau recouverts de végétation et les zones humides  | Moyen<br>6.1, 6.4 (où les eaux usées sont réutilisées), 6.6   |
| 6.4 Faire en sorte que les ressources en eau soient utilisées beaucoup plus efficacement dans tous les secteurs et garantir la viabilité des prélèvements et de l'approvisionnement en eau douce afin de remédier à la pénurie d'eau et de réduire nettement le nombre de personnes qui manquent d'eau   | Très élevé                                  | Les solutions fondées sur la nature améliorent la disponibilité de l'eau dans les sols pour les cultures pluviales (par exemple l'agriculture de conservation, etc.)   | Très élevé<br>6.1, 6.3, 6.6                                   |
|  | Élevé                                       | La récupération de l'eau, l'exploitation combinée des eaux souterraines et des eaux de surface, l'amélioration de la recharge des nappes souterraines à travers une meilleure gestion des terres, les infrastructures vertes urbaines (par exemple les revêtements de sols perméables, les systèmes durables d'évacuation des eaux en milieu urbain)   | Élevé<br>6.1, 6.3, 6.6  |
| 6.5 Assurer la gestion intégrée des ressources en eau à tous les niveaux, y compris au moyen de la coopération transfrontières selon qu'il convient  | Élevé                                       | Mise en œuvre de solutions fondées sur la nature à large échelle qui encouragent la collaboration entre les parties prenantes, par exemple la restauration des bassins hydrographiques   | Élevé<br>6.1, 6.3, 6.6  |
| 6.6 protéger et restaurer les écosystèmes liés à l'eau, notamment les montagnes, les forêts, les zones humides, les rivières, les aquifères et les lacs  | -   | Toutes. La Cible 6.6 constitue principalement l'application des solutions fondées sur la nature<br><br>Les cibles des ODD renvoient à leurs objectifs respectifs. Par conséquent, dans ce contexte, le but principal de la protection et de la restauration des écosystèmes liés à l'eau est de soutenir la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous. En d'autres termes, la Cible 6.6 renvoie au déploiement de solutions fondées sur la nature telles que définies dans le présent rapport. La protection et la restauration des écosystèmes pour d'autres objectifs, au-delà des résultats liés aux ressources en eau, sont examinées sous les avantages connexes des solutions fondées sur la nature dans le Tableau 7.2. | -   |
| 6.a D'ici à 2030, développer la coopération internationale et l'appui au renforcement des capacités des pays en développement en ce qui concerne les activités et programmes relatifs à l'eau et à l'assainissement, y compris la collecte, la désalinisation et l'utilisation rationnelle de l'eau, le traitement des eaux usées, le recyclage et les techniques de réutilisation | Élevé                                       | Les solutions fondées sur la nature comme centre d'attention du soutien au renforcement des capacités et de l'élargissement de la coopération internationale   | -   |
| 6.b Appuyer et renforcer la participation de la population locale à l'amélioration de la gestion de l'eau et de l'assainissement   | Élevé                                       |  | -   |

\*Le potentiel est évalué eu égard à la façon dont les SFN peuvent contribuer à d'autres moyens d'atteindre la même cible.



**Tableau 7.2** La contribution potentielle des SfN (pour l'eau) à certains autres ODD et leurs Cibles grâce à la fourniture d'avantages partagés non liés à l'eau

| ODD et Cible   | Avantage connexe potentiel réalisé à travers les SfN | Exemples  |
|--|--|---|
| <p><b>ODD 1. Éliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde</b></p> <p>1.5 ... renforcer la résilience des pauvres et des personnes en situation vulnérable et réduire leur exposition et leur vulnérabilité aux phénomènes climatiques extrêmes et à d'autres chocs et catastrophes d'ordre économique, social ou environnemental</p>   | Élevé  | Les solutions fondées sur la nature offrent des services écosystémiques non liés à l'eau qui contribuent à renforcer la résilience des pauvres et la résilience de l'ensemble du système ; par exemple, la reforestation réduit les glissements de terrain, les écosystèmes fournissent les sources de nourriture en temps de crise   |
| <p><b>ODD 2. Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable</b></p> <p>2.4 ... assurer la viabilité des systèmes de production alimentaire et mettre en œuvre des pratiques agricoles résilientes qui permettent d'accroître la productivité et la production, contribuent à la préservation des écosystèmes, renforcent les capacités d'adaptation aux changements climatiques, aux phénomènes météorologiques extrêmes, à la sécheresse, aux inondations et à d'autres catastrophes et améliorent progressivement la qualité des terres et des sols</p> | Très élevé   | Les avantages connexes non liés à l'eau des solutions fondées sur la nature pour l'approvisionnement en eau en agriculture (par exemple à travers l'agriculture de conservation et la restauration des paysages) sont considérables et comprennent la régulation de la lutte contre les ravageurs et les maladies, le recyclage des nutriments, la régulation des sols, la pollinisation, etc. Tous ces facteurs contribuent à améliorer la résilience, la durabilité et la productivité globales du système. |
| <p><b>ODD 3. Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge</b></p> <p>3.3 ...mettre fin à l'épidémie de ..., au paludisme et ...combattre les maladies transmises par l'eau ...</p>   | Modéré   | Les écosystèmes sains, favorisés par les solutions fondées sur la nature, aident à réguler les maladies et parasites d'origine hydrique   |
| <p><b>ODD 7. Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable</b></p> <p>7.3 ... multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique</p>   | Modéré   | Les solutions fondées sur la nature pour l'amélioration de la qualité de l'eau réduisent les besoins énergétiques liés au traitement de l'eau en aval   |
| <p><b>ODD 8. Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous</b></p> <p>8.4 Améliorer progressivement, jusqu'en 2030, l'efficacité de l'utilisation des ressources mondiales du point de vue de la consommation comme de la production et s'attacher à ce que la croissance économique n'entraîne plus la dégradation de l'environnement ...</p>  | Élevé  | Les solutions fondées sur la nature à une certaine échelle réinstaurent des rétroactions positives entre la croissance économique et l'environnement  |
| <p><b>ODD 9. Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation</b></p> <p>9.4 ... moderniser l'infrastructure et adapter les industries afin de les rendre durables, par une utilisation plus rationnelle des ressources et un recours accru aux technologies et procédés industriels propres et respectueux de l'environnement, chaque pays agissant dans la mesure de ses moyens</p>   | Élevé  | Les solutions fondées sur la nature favorisent le développement d'infrastructures vertes – qui accroissent l'efficacité dans l'utilisation des ressources et de technologies propres et respectueuses de l'environnement. Une approche particulièrement adaptée aux pays ayant une faible capacité et des ressources financières limitées   |

|   |                |  |
|---|----------------|--|
| <p><b>ODD 11. Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables</b></p> <p>11.7 ... assurer l'accès de tous à des espaces verts et des espaces publics sûrs ...</p> <p>11.a ... favoriser l'établissement de liens économiques, sociaux et environnementaux positifs entre zones urbaines, péri-urbaines et rurales en renforçant la planification du développement à l'échelle nationale et régionale</p> <p>11.b ... accroître nettement le nombre de villes et d'établissements humains qui adoptent et mettent en œuvre des politiques et plans d'action intégrés en faveur de l'insertion de tous, de l'utilisation rationnelle des ressources, de l'adaptation aux effets des changements climatiques et de leur atténuation et de la résilience face aux catastrophes, et élaborer et mettre en œuvre, conformément au Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030), une gestion globale des risques de catastrophe à tous les niveaux</p> <p>11.c Aider les pays les moins avancés, y compris par une assistance financière et technique, à construire des bâtiments durables et résilients en utilisant des matériaux locaux</p> | Élevé          | <p>Infrastructures vertes dans les zones urbaines</p> <p>Déploiement de solutions fondées sur la nature dans les bassins hydrographiques en vue de rapprocher la planification urbaine et péri-urbaine (et l'échelle des bassins hydrographiques) pour des établissements sûrs, résilients et durables – particulièrement approprié pour les pays en développement</p> |
| <p><b>ODD 12. Établir des modes de consommation et de production durables</b></p> <p>12.1 Mettre en œuvre le Cadre décennal de programmation concernant les modes de consommation et de production durables</p> <p>12.2 ... parvenir à une gestion durable et à une utilisation rationnelle des ressources naturelles</p> <p>12.5 ... réduire nettement la production de déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation ...</p> <p>12.7 ... des pratiques durables dans le cadre de la passation des marchés publics, conformément aux politiques et priorités nationales</p>  | Élevé          | <p>Les solutions fondées sur la nature sont déterminantes pour la mise en œuvre du Cadre décennal. Elles sont particulièrement efficaces dans la promotion d'une consommation efficace des ressources (par exemple des produits chimiques, des engrais et de la terre) en agriculture</p>  |
| <p><b>ODD 13. Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions</b></p> <p>13.1 ... renforcer, dans tous les pays, la résilience et les capacités d'adaptation face aux aléas climatiques et aux catastrophes naturelles liées au climat</p> <p>13.2 Incorporer des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques, les stratégies et la planification nationales</p>  | Élevé          |  |
| <p><b>ODD 14. Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable</b></p> <p>14.1 ... prévenir et réduire nettement la pollution marine de tous types, en particulier celle résultant des activités terrestres, y compris les déchets en mer et la pollution par les nutriments ...</p> <p>14.2 ... gérer et protéger durablement les écosystèmes marins et côtiers ..., notamment en renforçant leur résilience, et prendre des mesures en faveur de leur restauration ...</p>  | Modéré à élevé |  |
| <p><b>ODD 15. Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité</b></p> <p>Toutes les cibles</p>   | Très élevé     |  |
| <p><b>Partenariats multipartites</b></p> <p>17.16 ... renforcer le Partenariat mondial pour le développement durable, associé à des partenariats multipartites ...</p> <p>17.17 ... encourager et promouvoir les partenariats publics, les partenariats public-privé et les partenariats avec la société civile, en faisant fond sur l'expérience acquise et les stratégies de financement appliquées en la matière</p>   | Modéré         |  |

# RÉFÉRENCES

A

- Abell, R., Asquith, N., Boccaletti, G., Bremer, L., Chapin, E., Erickson-Quiroz, A., Higgins, J., Johnson, J., Kang, S., Karres, N., Lehner, B., McDonald, R., Raeppe, J., Shemie, D., Simmons, E., Sridhar, A., Vigerstøl, K., Vogl, A. et Wood, S. 2017. *Beyond the Source: The Environmental, Economic, and Community Benefits of Source Water Protection*. Arlington, (Va.), USA, The Nature Conservancy (TNC). [www.nature.org/beyondthesource](http://www.nature.org/beyondthesource)
- Aceves-Bueno, E., Adeleye, A. S., Bradley, D., Brandt, W. T., Callery, P., Feraud, M., Garner, K. L., Gentry, R., Huang, Y., McCullough, I., Pearlman, I., Sutherland, S. A., Wilkinson, W., Yang, Y., Zink, T., Anderson, S. E. et Tague, C. 2015. Citizen science as an approach for overcoming insufficient monitoring and inadequate stakeholder buy-in in adaptive management: Criteria and evidence. *Ecosystems*, vol. 18, n° 3, p. 493–506. doi.org/10.1007/s10021-015-9842-4
- Acreman, M. 2001. Ethical aspects of water and ecosystems. *Water Policy*, vol. 3, n° 3, p. 257–265. doi.org/10.1016/S1366-7017(01)00009-5
- Acreman, M. C. et Mountford, J. O. 2009. Wetland management. R. Ferrier et A. Jenkins (eds.), *Handbook of Catchment Management*. Oxford, Royaume-Uni, Blackwell Publishing
- AEDSAW (Association for Environmental and Developmental Studies in the Arab World). 2002. *AEDSAW Activities at WOCMES 2002, Mayence, Allemagne*. Site web du AEDSAW. [almashriq.hiof.no/general/300/360/363/363.7/aedsaw/wocmes-2002.html](http://almashriq.hiof.no/general/300/360/363/363.7/aedsaw/wocmes-2002.html)
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2016. *Green Roofs in Basel, Switzerland: Combining Mitigation and Adaptation Measures (2015)*. Climate-ADAPT, Plate-forme européenne d'adaptation aux changements climatiques, AEE. [climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1](http://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1)
- AEI (Agence internationale de l'énergie). 2012. Chapter 17. Water for energy: Is energy becoming a thirstier resource? *World Energy Outlook 2012*. Paris, AIE. [www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012\\_free.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf)
- AGNU (Assemblée générale des Nations Unies). 2016. *Draft Outcome Document of the United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III)*. Conférence des Nations Unies sur le logement et le développement urbain durable (Habitat III), Quito, 17-20 octobre 2016. [nua.unhabitat.org/uploads/DraftOutcomeDocumentofHabitatIII\\_en.pdf](http://nua.unhabitat.org/uploads/DraftOutcomeDocumentofHabitatIII_en.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2017. *Rapport de la Rapporteuse spéciale sur le droit à l'alimentation*. Trente-quatrième session du Conseil des droits de l'homme, 27 février–24 mars 2017. Document A/HRC/34/48. Nations Unies. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G17/017/88/PDF/G1701788.pdf?OpenElement>
- Alexandratos, N. et Bruinsma, J. 2012. *Agriculture mondiale : horizon 2030/2050. Version de 2012*. Document de travail de l'ESA n° 12-03. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). [www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf)
- Allan, J. A. 2003. *IWRM/IWRAM: A New Sanctioned Discourse?* Document occasionnel n° 50. Londres, École des études orientales et africaines, Water Issues Study Group, University of London.
- Alvizuri, J., Cataldo, J., Smalls-Mantey, L. A. et Montalto, F. A. 2017. Green roof thermal buffering: Insights derived from fixed and portable monitoring equipment. *Energy and Buildings*, vol. 151, p. 455–468. doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.020
- Ambassade du Royaume des Pays-Bas en Chine. 2016. *Factsheet Sponge City Construction in China*. Beijing, Royaume des Pays-Bas. [www.nederlandenu.nl/binaries/nl-netherlandsandyou/documenten/publicaties/2016/12/06/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf](http://www.nederlandenu.nl/binaries/nl-netherlandsandyou/documenten/publicaties/2016/12/06/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf)
- ANA (Agência Nacional de Águas). 2011. *ANA abre seleção para projetos de conservação de água e solo* [L'ANA effectue des appels à projets sur la conservation de l'eau et des sols]. Site web de l'ANA. [www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=9304](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=9304) (en portugais)
- Andréssian, V. 2004. Eaux et Forêts : de la controverse historique au débat scientifique. *Journal of Hydrology*, vol. 291, n° 1–2, p. 1–27. <http://hydrologie.org/THE/andreassian/andreassian2.pdf>
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A. and Lunn, D. 2014. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, vol. 69, n° 43–56. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069
- AQUASTAT. s.d. Site Internet d'AQUASTAT. FAO. [fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm](http://fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm) (Consulté en juillet 2017).
- Aragão, L. E. O. C. 2012. Environmental Science: The rainforest's water pump. *Nature*, vol. 489, pp. 217–218. doi.org/10.1038/nature11485
- Atkinson, G. and Pearce, D. 1995. Measuring sustainable development. D. W. Bromley (ed.), *Handbook of Environmental Economics*. Oxford, UK, Wiley-Blackwell.
- Avellán, C. T., Ardakanian, R. et Gremillion, P. 2017. The role of constructed wetlands for biomass production within the water-soil-waste nexus. *Water Science and Technology*, vol. 75, n° 10, pp. 2237–2245. doi.org/10.2166/wst.2017.106

- Aylward, B., Bandyopadhyay, J. et Belausteguigotia, J. 2005. Freshwater ecosystem services. Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, *Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses*. Washington, Island Press.  
www.millenniumassessment.org/documents/document.312.aspx.pdf
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Aviles-Vazquez, K., Samulon, A. et Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, vol. 22, n° 2, p. 86–108.  
doi.org/10.1017/S1742170507001640
- Baker, T., Kiptala, J., Olaka, L., Oates, N., Hussain, A. et McCartney, M. 2015. *Baseline Review and Ecosystem Services Assessment of the Tana River Basin, Kenya*. Document de travail n° 165. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). doi.org/10.5337/2015.223
- Banque mondiale. 2009. *Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-Based Approaches to Climate Change*. Washington, Banque mondiale. siteresources.worldbank.org/ENVIRONMENT/Resources/ESW\_EcosystemBasedApp.pdf
- \_\_\_\_\_. s.d. Site Internet de WAVES (Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services/Comptabilisation de la richesse naturelle et valorisation des services écosystémiques). www.wavespartnership.org (Consulté en juillet 2017).
- Barton, M. A. 2016. *Nature-Based Solutions in Urban Contexts: A Case Study of Malmö, Sweden*. Thèse de Master. Lund, Suède, Institut International Suédois de l'Économie Industrielle et de l'Environnement (IIIEE).  
lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8890909&fileId=8890910
- BAoD (Banque asiatique de développement). 2013. *Asian Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and the Pacific*. Mandaluyong, Philippines, BAoD. www.adb.org/sites/default/files/publication/30190/asian-water-development-outlook-2013.pdf
- \_\_\_\_\_. 2015. *Nature-Based Solutions for Sustainable and Resilient Mekong Towns, Volume 1 of the Resource Kit for Building Resilience and Sustainability in Mekong Towns*. Préparé par l'International Centre for Environmental Management (ICEM) pour la Banque asiatique de développement et le Fonds nordique de développement. Manille, BAoD www.adb.org/sites/default/files/publication/215721/nature-based-solutions.pdf
- Batker, D., De la Torre, I., Costanza, R., Swedeen, P., Day, J., Boumans, R. et Bagstad, K. 2010. *Gaining Ground. Wetlands, Hurricanes and the Economy: The Value of Restoring the Mississippi River Delta*. Earth Economics Project Report. Tacoma, Wash., Earth Economics.
- Beatley, T. 2011. *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Washington, Island Press.
- Bedford, B. L. et Preston, E. M. 1988. Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape functions: Status, perspectives, and prospects. *Environmental Management*, vol. 12, n° 5, pp. 751–771. doi.org/10.1007/BF01867550
- Benedict, M. A. et McMahon, E. T. 2001. *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21<sup>st</sup> Century*. Washington, Sprawl Watch Clearinghouse. www.sprawlwatch.org/greeninfrastructure.pdf
- Bennett, G. et Ruef, F. 2016. *Alliances for Green Infrastructure: State of Watershed Investment 2016*. Washington, Forest Trends' Ecosystem Marketplace. www.forest-trends.org/documents/files/doc\_5463.pdf
- Bennett, G., Nathaniel, C. et Hamilton, K. 2013. *Charting New Waters: State of Watershed Payments 2012*. Washington, Forest Trends. www.forest-trends.org/documents/files/doc\_3308.pdf
- Beschta, R. L. et Kauffman, J. B. 2000. Restoration of riparian systems: Taking a broader view. J. P. J. Wigington et R. L. Beschta (eds.), *Riparian Ecology and Management in Multi-Land Use Watersheds*. Middleburg, Va., États-Unis, American Water Resources Association (AWRA), pp. 323–328.
- Bezabih, M., Ruhinduka, R. et Sarr, M. 2016. *Perception du changement climatique et système d'intensification rizicole en Tanzanie : une méthode du moment par rapprochements*. Leeds/Londres, Royaume-Uni, Centre for Climate Change Economics and Policy/Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2016/11/Working-Paper-256-Bezabih-et-al.pdf
- Bilotta, G. S., Krueger, T., Brazier, R. E., Butler, P., Freer, J., Hawkins, J. M. B., Haygarth, P. M., Macleod, C. J. et Quinton, J. 2010. Assessing catchment-scale erosion and yields of suspended solids from improved temperate grassland. *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 12, n° 3, p. 731–739. doi.org/10.1039/b921584k
- Bockheim, J. G. et Gennadiyev, A. N. 2010. Soil-factorial models and earth-system science: A review. *Geoderma*, vol. 159, n° 3-4, p. 243–51. doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.005
- Borg, H., Stoneman, G. L. et Ward, C. G. 1988. The effect of logging and regeneration on groundwater, streamflow and stream salinity in the southern forest of Western Australia. *Journal of Hydrology*, vol. 99, n° 3-4, p. 253–270.  
doi.org/10.1016/0022-1694(88)90052-2
- Bossio, D., Geheb, K. et Critchley, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management*, vol. 97, n° 4, p. 536–542.  
doi.org/10.1016/j.agwat.2008.12.001

- Bossio, D., Noble, A., Molden, D. et Nangia, V. 2008. Land degradation and water productivity in agricultural landscapes. D. Bossio et K. Geheb (eds.), *Conserving Land, Protecting Water*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 6. Wallingford, Royaume-Uni/Colombo, Centre for Agriculture and Bioscience (CAB) International/Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). [www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI\\_Publications/CA\\_CABI\\_Series/Conserving\\_Land\\_Protecting\\_Water/protected/9781845933876.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Conserving_Land_Protecting_Water/protected/9781845933876.pdf)
- Brix, H., Koottatep, T., Fryd, O. et Laugesen, C. H. 2011. The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi: System design and lessons learned during implementation and operation. *Ecological Engineering*, vol. 37, n° 5, pp. 729–735. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.035
- Brown, G. et Fagerholm, N. 2015. Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: A review and evaluation. *Ecosystem Services*, vol. 13, pp. 119–133. doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.007
- Bullock, A. et Acreman, M. C. 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 7, n° 3, pp. 75–86. doi.org/10.5194/hess-7-358-2003
- Bünemann, E. K., Schwenke, G. D. et Van Zwieten, L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms: A review. *Australian Journal of Soil Research*, vol. 44, pp. 379–406. doi.org/10.1071/SR05125
- Burek, P., Mubareka, S., Rojas, R., De Roo, A., Bianchi, A., Baranzelli, C., Lavalle, C. et Vandecasteele, I. 2012. *Evaluation of the Effectiveness of Natural Water Retention Measures: Support to the EU Blueprint to Safeguard Europe's Waters*. JRC Scientific and Policy Reports. Luxembourg, Commission européenne/Centre commun de recherche/Institut de l'environnement durable (CE/CCR/IES). [ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EUR25551EN\\_JRC\\_Blueprint\\_NWRM.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EUR25551EN_JRC_Blueprint_NWRM.pdf)
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. et Wiberg, D. 2016. *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. Document de travail de l'IIASA. Laxenbourg, Autriche, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). [pure.iiasa.ac.at/13008/](http://pure.iiasa.ac.at/13008/)
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D. M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., Tilahun, S., Van Hecken, G. et Zhumanova, M. 2014. Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, vol. 2, n° 26. doi.org/10.3389/feart.2014.00026
- Calvache, A., Benítez, S. et Ramos, A. 2012. *Water Funds: Conserving Green Infrastructure. A Guide for Design, Creation and Operation*. Bogota, Latin American Water Funds Partnership/The Nature Conservancy (TNC)/Fondation FEMSA/Banque interaméricaine de développement (BID). [www.nature.org/media/freshwater/latin-america-water-funds.pdf](http://www.nature.org/media/freshwater/latin-america-water-funds.pdf)
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzing, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S. et Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, vol. 486, p. 59–67. doi.org/10.1038/nature11148
- Carrao, H., Naumann, G. et Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change*, vol. 39, p. 108–124. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.012
- CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 1992. *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Nations Unies. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2015. *Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President*. Conférences des Parties, Vingt-et-unième session, Paris, 30 novembre-11 décembre 2015. [unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf)
- CDB (Convention sur la diversité biologique). 1992. *Convention sur la diversité biologique*. Rio de Janeiro, Brésil, 5 juin 1992. <https://www.cbd.int/convention/text/default.shtml>
- \_\_\_\_\_. 2010. *Décision adoptée par la conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique à sa dixième réunion*. Nagoya, Japon, 18-29 octobre 2010. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-fr.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2015. *Questions scientifiques et techniques stratégiques liées à la mise en œuvre du Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 : biodiversité, systèmes alimentaires et agriculture*. Dix-neuvième réunion de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques. Montreal, PQ, CBD. [www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-20/information/sbstta-20-inf-49-en.pdf](http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-20/information/sbstta-20-inf-49-en.pdf)
- CE (Commission européenne). 2013a. *Rapport de la Commission au Conseil et au Parlement européen relatif à la mise en œuvre de la directive 91/676/CEE du Conseil concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles, sur la base des rapports établis par les États Membres pour la période 2008-2011*. Bruxelles, CE. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52013DC0683&from=en>
- \_\_\_\_\_. 2013b. *Infrastructure verte – Renforcer le capital naturel de l'Europe*. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. COM/2013/0249 final. Bruxelles, CE. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52013DC0249&from=EN>
- \_\_\_\_\_. 2014. *EU Policy Document on Natural Water Retention Measures by the Drafting Team of the WFD CIS Working Group Programme of Measures (WG PoM)*. Technical Report 2014 No. 082. Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes. doi.org/10.2779/227173

- \_\_\_\_\_. 2015. *Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'*. Bruxelles, CE. [publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202](https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202)
- \_\_\_\_\_. 2017a. *Report on the Implementation of Direct Payments [Outside Greening] – Claim Year 2015*. CE.
- \_\_\_\_\_. 2017b. *An Action Plan for Nature, People and the Economy*. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. COM/2017/198 final. Bruxelles, CE. [ec.europa.eu/environment/nature/legislation/fitness\\_check/action\\_plan/communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/fitness_check/action_plan/communication_en.pdf)
- CEPALC (Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes). 2015. *Peru's Compensation Mechanisms for Ecosystem Services Act*. Réseau de coopération pour la gestion intégrée des ressources en eau dans la perspective du développement durable en Amérique latine et dans les Caraïbes, Circulaire n° 41. Santiago, CEPALC. [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37850/S1421023\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37850/S1421023_es.pdf)
- CESAP (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique). 2017. *Shifting towards Water-Resilient Infrastructure and Sustainable Cities*. ESCAP Knowledge Hub for Sustainable Development. Formation en ligne. [sustdev.unescap.org/course/detail/9](https://sustdev.unescap.org/course/detail/9) (Consulté en juillet 2017).
- CESAP/UNISDR (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique/Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes). 2012. *Reducing Vulnerability and Exposure to Disasters. The Asia-Pacific Disaster Report 2012*. CESAP/UNISDR. [www.unisdr.org/files/29288\\_apdr2012finalowres.pdf](http://www.unisdr.org/files/29288_apdr2012finalowres.pdf)
- CGIAR WLE (Programme de recherche du CGIAR sur l'eau, la terre et les écosystèmes). 2017. *Re-Conceptualizing Dam Design and Management for Enhanced Water and Food Security*. Towards Sustainable Intensification: Insights and Solutions Brief No. 3. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI)/CGIAR. [doi.org/10.5337/2017.212](https://doi.org/10.5337/2017.212)
- Chappell, N. A. 2005. Water pathways in humid forests: Myths vs. observations. *Suiri Kagaku*, vol. 48, n° 6, p. 32–46
- Chaturvedi, V., Hejazi, M., Edmonds, J., Clarke, L., Kyle, P., Davies, E. et Wise, M. 2013. Climate mitigation policy implications for global irrigation water demand. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, pp. 1–16.
- Chen, L., Wang, J., Wei, W., Fu, B. et Dongping, W. 2010. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management*, vol. 259, n° 7, p. 1291–1298. [doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.025](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.025)
- Chiramba, T., Mogoi, S., Martinez, I. et Jones, T. 2011. *Payment for Environmental Services Pilot Project in Lake Naivasha Basin, Kenya: A Viable Mechanism for Watershed Services that Delivers Sustainable Natural Resource Management and Improved Livelihoods*. Présenté à la conférence internationale de l'ONU-Eau « L'eau dans l'économie verte en pratique : Vers Rio +20 », Saragosse, Espagne, 3-5 octobre 2011. [www.imarisha.le.ac.uk/sites/default/files/PES%20%28UN-WATER%2c2011%29.pdf](http://www.imarisha.le.ac.uk/sites/default/files/PES%20%28UN-WATER%2c2011%29.pdf)
- Climate Bonds Initiative. 2017. *Green Bonds Policy: Highlights from 2016*. Initiative Climate Bonds. [www.climatebonds.net/files/reports/cbi-policy-roundup-2016.pdf](http://www.climatebonds.net/files/reports/cbi-policy-roundup-2016.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d. *Boosting Demand: Mandates for Domestic Funds, Quantitative Easing*. Site Internet de l'Initiative Climate Bonds. [www.climatebonds.net/policy/policy-areas/boosting-demand](http://www.climatebonds.net/policy/policy-areas/boosting-demand)
- CNUDD (Conférence des Nations Unies sur le développement durable). 2012. *L'avenir que nous voulons*. Résultats de la Conférence, Point 10 de l'ordre du jour. Rio de Janeiro, Brésil, 20–22 juin 2012. [https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1\\_french.pdf.pdf](https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1_french.pdf.pdf)
- CNULCD (Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification). 1994. *Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique*. Paris, 17 juin 1994. <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/conventionText/conv-fre.pdf>
- CNULCD Interface Science-Politique. 2016. *Land in Balance: The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality (LND)*. Science-Policy Brief No. 2. Bonn, Germany, UNCCD. [www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/18102016\\_spi\\_pb\\_multipage\\_eng\\_1.pdf](http://www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/18102016_spi_pb_multipage_eng_1.pdf)
- Coates, D. et Smith, M. 2012. Natural infrastructure solutions for water security. R. Ardakanian et D. Jaeger (eds.), *Water and the Green Economy: Capacity Development Aspects*. Bonn, Allemagne, Programme d'ONU-eau pour le développement des capacités dans le cadre de la Décennie (UNW-DPC), p.167-188.
- Coates, D., Pert, P. L., Barron, J., Muthuri C., Nguyen-Khoa, S., Boelee, E. et Jarvis, D. I. 2013. Water-related ecosystem services and food security. E. Boelee (ed.), *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series No. 10. Wallingford, Royaume-Uni/Boston, États-Unis, Centre for Agriculture and Bioscience (CAB) International, pp. 29–41.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. et Maginnis, S. (eds.). 2016. *Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges*. Gland, Suisse, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN). [portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf)
- Comité de la sécurité alimentaire mondiale. 2014. *Principes pour un investissement responsable dans l'agriculture et les systèmes alimentaires*. Quarante et unième session du Comité de la sécurité alimentaire mondiale : Sécurité alimentaire et nutrition – faire la différence. Rome, Comité de la sécurité alimentaire mondiale. <http://www.fao.org/3/a-mm369f.pdf>

- Commission du Mékong. 2009. *Annual Mekong Flood Report 2008*. Vientiane, Commission du Mékong. [www.mrcmekong.org/assets/Publications/basin-reports/Annual-Mekong-Flood-Report-2008.pdf](http://www.mrcmekong.org/assets/Publications/basin-reports/Annual-Mekong-Flood-Report-2008.pdf)
- Commission mondiale sur les barrages. 2000. *Barrages et développement. Un nouveau cadre pour la prise de décisions*. Le rapport de la Commission mondiale des barrages. Londres/Sterling, Va., États-Unis, Earthscan. [http://staging.unep.org/dams/WCD/report/WCD%20report\\_Barrages%20et%20D%C3%A9veloppement\\_pr%C3%A9face.pdf](http://staging.unep.org/dams/WCD/report/WCD%20report_Barrages%20et%20D%C3%A9veloppement_pr%C3%A9face.pdf)
- Conant, R. T. 2012. Grassland soil organic carbon stocks: Status, opportunities, vulnerability. R. Lal, K. Lorenz, R. F. Hüttl, B. U. Schneider et J. von Braun (eds.), *Recarbonization of the Biosphere*. Dordrecht, Pays-Bas, Springer, pp. 275–302.
- Convention de Ramsar sur les zones humides. 1971. *Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau*. Ramsar, Iran, 2 février 1971. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current\\_convention\\_text\\_f.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_f.pdf)
- Corno, L., Pilu, R., Cantaluppi, E. et Adani, F. 2016. Giant cane (*Arundo donax* L.) for biogas production: The effect of two ensilage methods on biomass characteristics and biogas potential. *Biomass and Bioenergy*, vol. 93, p. 131–136. doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.07.017
- CRED (Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres). s.d. EM-DAT Base de données sur les situations d'urgence. Bruxelles, CRED. [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- CRED/UNISDR (Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres/Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe). 2015. *The Human Costs of Weather Related Disasters 1995–2015*. Bruxelles/Genève, CRED/UNISDR. [www.unisdr.org/we/inform/publications/46796](http://www.unisdr.org/we/inform/publications/46796)
- Critchley, W. et Di Prima, S. (eds.) 2012. *Water Harvesting Technologies Revisited. Deliverable 2.1 of the FP7 Project Water Harvesting Technologies: Potentials for Innovations, Improvements and Upscaling in SubSaharan Africa*. Université libre d'Amsterdam.
- Cullen, H. M., deMenocal, P. B., Hemming, S., Brown, F. H., Guilderson, T., et Sirocko, F. 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology*, vol. 28, n° 4, pp. 379–382. doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<379:CCATCO>2.0.co;2
- Dadson, S. J., Hall, J. W., Murgatroyd, A., Acreman, M., Bates, P., Beven, K., Heathwaite, L., Holden, J., Holman, I. P., Lane, S. N., O'Connell, E., Penning-Rowsell, E., Reynard, N., Sear, D., Thorne, C. et Wilby, R. 2017. A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 473, n° 2199. doi.org/10.1098/rspa.2016.0706
- DAES (Département des affaires économiques et sociales). 2015. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. ST/ESA/SER.A/366. New York, DAES, Division de la population. [esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf](http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2017. *World Urbanization Prospects: Key Findings and Advance Tables – The 2017 Revision*. Working Paper No. ESA/P/WP/248. New York, DAES, Division de la population. [esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf)
- Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, vol. 3, p. 52–58. doi.org/10.1038/nclimate1633
- Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T. et Puma, M. J. 2017. Groundwater depletion embedded in international food trade. *Nature*, vol. 543, pp. 700–704. doi.org/10.1038/nature21403
- Davidson, N. C. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, vol. 65, n° 10, pp. 934–941. doi.org/10.1071/MF14173
- Davis, M., Krüger, I. et Hinzmann, M. 2015. *Coastal Protection and SUDS: Nature-Based Solutions*. Note de politique n° 4 de RECREATE. Berlin, Institut écologique. [ec.europa.eu/environment/integration/green\\_semester/pdf/Recreate\\_PB\\_2015\\_NBS\\_final\\_druck10-02-2016.pdf](http://ec.europa.eu/environment/integration/green_semester/pdf/Recreate_PB_2015_NBS_final_druck10-02-2016.pdf)
- Dawson, T. E. 1996. Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: The roles of tree size and hydraulic lift. *Tree Physiology*, vol. 16, n° 1-2, p. 263–272. doi.org/10.1093/treephys/16.1-2.263
- De la Varga, D., Van Oirschot, D., Soto, M., Kilian, R., Arias, C. A., Pascual, A. et Álvarez, J. A. 2017. Constructed wetlands for industrial wastewater treatment and removal of nutrients. Á. Val del Rio, J. L. Campos Gómez et A. M. Corral (eds.), *Technologies for the Treatment and Recovery of Nutrients from Industrial Wastewater*. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series. Hershey, Pa., IGI Global, États-Unis, IGI Global, pp. 202–230.
- De Sousa, M. R. C., Montalto, F. A. et Gurian, P. 2016. Evaluating green infrastructure stormwater capture performance under extreme precipitation. *Journal of Extreme Events*, vol. 3, n° 2. doi.org/10.1142/S2345737616500068
- De, A., Bose, R., Kumar, A. et Mozumdar, S. 2014. *Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles*. Springer Briefs in Molecular Science. New Delhi, Springer India. doi.org/10.1007/978-81-322-1689-6
- Delpa, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M. et Thomas, O. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, vol. 35, n° 8, p. 1225–1233. doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001
- DEP (New York City Department of Environmental Protection). 2010. *NYC Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways*. New York, DEP. [www.nyc.gov/html/dep/pdf/green\\_infrastructure/NYCGreenInfrastructurePlan\\_LowRes.pdf](http://www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/NYCGreenInfrastructurePlan_LowRes.pdf)

- Derpsch, R. et Friedrich, T. 2009. *Global Overview of Conservation Agriculture Adoption*. Document présenté au IVème Congrès Mondial d'Agriculture de Conservation, New Delhi, Février 2009.
- Di Giovanni, G. et Zevenbergen, C. 2017. 'Upscaling': Practice, policy and capacity building. Insights from the partners' experience. *Building with Nature Report, Interreg Vb Programme 2014–2020 for a Sustainable North Sea Region*.
- Dickens, C. W. S. et Graham, P. M. 2002. The South African Scoring System (SASS) Version 5: Rapid bioassessment method for rivers. *African Journal of Aquatic Science*, vol. 27, n° 1, pp. 1–10. doi.org/10.2989/16085914.2002.9626569
- Dill, J., Deichert, G. et Thu, L. T. N. (eds.). 2013. *Promoting the System of Rice Intensification: Lessons Learned from Trà Vinh Province, Viet Nam*. Agence allemande de coopération internationale/Fonds international de développement agricole (GIZ/FIDA).
- Dillon, P., Kumar, A., Kookana, R., Leijts, R., Reed, D., Parsons, S. et Ingleton, G. 2009. *Managed Aquifer Recharge: Risks to Groundwater Dependent Ecosystems – A Review*. Water for a Healthy Country Flagship Report. Land & Water Australia. Canberra, Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth. publications.csiro.au/rpr/download?pid=procite:9701153f-4d82-4e68-a435-e652103c73a9&dsid=DS1
- Dobbs, R., Pohl, H., Lin, D., Mischke, J., Garemo, N., Hexter, J., Matzinger, S., Palter, R. et Nanavatty, R. 2013. *Infrastructure Productivity: How to Save \$1 Trillion a Year*. McKinsey Global Institute. www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/infrastructure-productivity
- Dow Chemical Company/Swiss Re/Shell/Unilever/TNC (The Nature Conservancy). 2013. *Green Infrastructure Case Studies: Case Studies Evaluated by Participating Companies for Creation of the White Paper « The Case for Green Infrastructure »*. www.nature.org/about-us/working-with-companies/case-studies-for-green-infrastructure.pdf
- DWA (Department of Water and Sanitation of South Africa). s.d. *River Eco-status Monitoring Programme*. Site Internet du DWA. www.dwa.gov.za/IWQS/rhp/default.aspx
- Echavarría, M., Zavala, P., Coronel, L., Montalvo, T. et Aguirre, L. M. 2015. *Green Infrastructure in the Drinking Water Sector in Latin America and the Caribbean: Trends, Challenges, and Opportunities*. EcoDecisión/Forest Trends/The Nature Conservancy (TNC). www.forest-trends.org/documents/files/doc\_5134.pdf
- Embid, A. et Martín, M. 2015. *La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina* [L'expérience législative de la décennie 2005-2015 concernant l'eau en Amérique latine]. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38947/1/S1500777\_es.pdf (en espagnol).
- Eriyagama, N., Smakhtin, V. et Gamage, N. 2009. *Mapping Drought Patterns and Impacts: A Global Perspective*. IWMI Research Report No. 133. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). www.iwmi.cgiar.org/publications/iwmi-research-reports/iwmi-research-report-133/
- Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire. 2005. *Les écosystèmes et le bien-être humain : Synthèse*. Washington, Island Press. www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf (disponible en anglais).
- Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture. 2007. *L'Eau pour l'Alimentation, l'Eau pour la Vie : Une Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture*. Londres/Colombo, Earthscan/Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI).
- Everard, M. 2015. Community-based groundwater and ecosystem restoration in semi-arid north Rajasthan (1): Socio-economic progress and lessons for groundwater-dependent areas. *Ecosystem Services*, vol. 16, p. 125–135. doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.011
- Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., De Boissezon, B. et Vandewoestijne, S. 2017. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, vol. 159, p. 509–518. doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032
- Falkenmark, M. et Rockström, J. 2004. *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Londres, Earthscan.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2010. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2010 : Rapport principal*. Étude FAO: Forêts 163. Rome, FAO. http://www.fao.org/docrep/013/i1757f/i1757f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2011a. *L'état des ressources en terre et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde : Gérer les systèmes en danger*. Rome/Londres, FAO/Earthscan. http://www.fao.org/3/a-i1688f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2011b. *Produire plus avec moins : Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome, FAO. http://www.fao.org/3/a-i2215f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2011c. *Pourquoi investir dans le développement durable des montagnes ?* Rome, FAO. http://www.fao.org/3/a-i2370f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2013a. *Guide de référence de l'agriculture intelligente face au climat*. Rome, FAO. www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf
- \_\_\_\_\_. 2013b. *Cadre stratégique révisé*. Trente-huitième session. Rome, 15–22 juin 2013. http://www.fao.org/docrep/meeting/027/mg015f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2014a. *Construire une vision commune pour une alimentation et une agriculture durables : Principes et approches*. Rome, FAO. http://www.fao.org/3/a-i3940f.pdf

E

F



- \_\_\_\_\_. 2014b. *L'agriculture, la foresterie et des autres utilisations des terres. Émissions par sources et absorptions par puits issues*. Division de la statistique de la FAO Working Paper Series ESS/14-02. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3671f.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2014c. *The Water–Energy–Food Nexus: A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture*. Rome, FAO. [www.fao.org/3/a-bl496e.pdf](http://www.fao.org/3/a-bl496e.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015. *The Impact of Natural Hazards and Disasters on Agriculture and Food Security and Nutrition: A Call for Action to Build Resilient Livelihoods*. Rome, FAO. [www.fao.org/3/a-i4434e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 : Comment les forêts de la planète changent-elles ? Deuxième édition*. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i4793f.pdf>
- FAO/FIDA/UNICEF/PAM/OMS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Fonds international de développement agricole/Fonds des Nations Unies pour l'enfance/Programme alimentaire mondial/Organisation mondiale de la santé). 2017. *L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017 : Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire*. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i7695f.pdf>
- FAO/GTIS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Groupe technique intergouvernemental sur les sols). 2015a. *État des ressources en sols dans le monde - Rapport principal*. Rome, FAO. [www.fao.org/3/a-i5199e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015b. *État des ressources en sols dans le monde - Résumé technique*. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-i5126f.pdf>
- FEM (Fonds pour l'environnement mondial). 2017. *GEF-6 Program Framework Document (PFD). Amazon Sustainable Landscapes Program*. [www.thegef.org/sites/default/files/project\\_documents/GEF-6\\_PFD\\_Amazon\\_Revised\\_Sept\\_10\\_FINAL.pdf](http://www.thegef.org/sites/default/files/project_documents/GEF-6_PFD_Amazon_Revised_Sept_10_FINAL.pdf)
- FICR (Fédération internationale des sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge). 2016. *Rapport sur les catastrophes dans le monde - La résilience : sauver des vies aujourd'hui, investir pour demain*. Genève, FICR. [http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/1304405-World%20Disaster%20Resumes%202016\\_Fr\\_LR.pdf](http://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/1304405-World%20Disaster%20Resumes%202016_Fr_LR.pdf)
- Finlayson, C. M., Gitay, H., Bellio, M. G., Van Dam, R. A. et Taylor, I. 2006. Climate variability and change and other pressures on wetlands and waterbirds: Impacts and adaptation. G. C. Boere, C. A. Galbraith et D. A. Stroud (eds.), *Waterbirds around the World: A Global Overview of the Conservation, Management and Research of the World's Waterbirds Flyways*. Édimbourg, Royaume-Uni, The Stationery Office. pp. 88–97.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B. et Manning, A. D. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: Ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 4, n° 2, pp. 80–86. [doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0080:BEFART\]2.0.CO](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0080:BEFART]2.0.CO)
- FONAG (Fondo para la Protección del Agua). s.d. *Fonds pour la protection de l'eau — FONAG*. Site Internet du FONAG : [www.fonag.org.ec/?page\\_id=1580](http://www.fonag.org.ec/?page_id=1580)
- Friedrich, T., Kassam, A. H. et Shaxson, F. 2008. *Agriculture for Developing Countries. Annex 2, Case Study Conservation Agriculture*. Projet de l'Unité d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (STOA). Karlsruhe, Allemagne, European Technology Assessment Group. [www.itas.kit.edu/downloads/projekt/projekt\\_meye08\\_atdc\\_annex2.pdf](http://www.itas.kit.edu/downloads/projekt/projekt_meye08_atdc_annex2.pdf)
- Gale, I. N., Macdonald, D. M. J., Calow, R. C., Neumann, I., Moench, M., Kulkarni, H., Mudrakartha, S. et Palanisami, K. 2006. *Managed Aquifer Recharge: An Assessment of its Role and Effectiveness in Watershed Management*. Rapport final pour le projet R8169 du DFID KAR, Augmenting groundwater resources by artificial recharge: AGRAR. Rapport commissionné CR/06/107N par le Service géologique britannique. Keyworth, Royaume-Uni, Service géologique britannique/Département du développement international.
- Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R. et Gunn, J. (eds.). 2013. *Natural Infrastructure: Investing in Forested Landscapes for Source Water Protection in the United States*. Washington, Institut des ressources mondiales (WRI). [www.wri.org/sites/default/files/wri13\\_report\\_4c\\_naturalinfrastructure\\_v2.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/wri13_report_4c_naturalinfrastructure_v2.pdf)
- Gathorne-Hardy, A., Reddy, D. N., Venkatanarayana, M. et Harriss-White, B. 2013. A life cycle assessment (LCA) of greenhouse gas emissions from SRI and flooded rice production in SE India. *Taiwan Water Conservancy*, vol. 61, n° 4, pp. 110–125.
- GFC/IAC/CBA/AMAC/IAMAC/CTA/FECO (Green Finance Committee of China Society for Finance and Banking/Investment Association of China/China Banking Association/Asset Management Association of China/Insurance Asset Management Association of China/China Trustee Association/Foreign Economic Cooperation Office of the Ministry of Environment Protection). 2017. *Environmental Risk Management Initiative for China's Overseas Investment*. 5 septembre 2017. [unepinquiry.org/wp-content/uploads/2017/09/Environmental-Risk-Management-Initiative-for-China---s-Overseas-Investment.pdf](http://unepinquiry.org/wp-content/uploads/2017/09/Environmental-Risk-Management-Initiative-for-China---s-Overseas-Investment.pdf)
- Gibson, D. J. 2009. *Grasses and Grassland Ecology*. Oxford, UK, Oxford University Press.
- GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). 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. Cambridge, Royaume-Uni/New York, Cambridge University Press. [www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Royaume-Uni/New York, Cambridge University Press. [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/)

- Gleick, P. H. et Palaniappan, M. 2010. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° 25, pp. 11155–11162. doi.org/10.1073/pnas.1004812107
- Goldin, J., Rutherford, R. et Schoch, D. 2008. The place where the sun rises: An application of IWRM at the village level. *International Journal of Water Resource Development*, vol. 24, n° 3, pp. 345–356. doi.org/10.1080/07900620802127283
- Goren, O. 2009. *Geochemical Evolution and Manganese Mobilization in Organic Enriched Water Recharging Calcareous-sandstone Aquifer; Clues from the Shafdan Sewage Treatment Plant*. Thèse de doctorat, , Jérusalem, Israël, Université hébraïque/Ministère des infrastructures nationales d'Israël/Service géologique d'Israël. www.gsi.gov.il/\_uploads/ftp/GsiReport/2009/Goren-Orly-GSI-12-2009.pdf
- Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J. et Dendooven, L. 2009. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Science*, vol. 28, n° 3, p. 97–122. doi.org/10.1080/07352680902776358
- Graham, P. M., Dickens, C. W. S et Taylor, R. J. 2004. Mini SASS – A novel technique for community participation in river health monitoring and management. *African Journal of Aquatic Sciences*, vol. 29, n° 1, pp. 25–35.
- Granit, J., Liss Lymer, B., Olsen, S., Tengberg, A., Nömmann, S. et Clausen, T. J. 2017. A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum. *Water Policy*, vol. 19, n° 5, pp. 673–691. doi.org/10.2166/wp.2017.126
- GEHN (Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, du Comité sur la Sécurité Alimentaire Mondiale). 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale : Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome, Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, du Comité sur la Sécurité Alimentaire Mondiale. http://www.fao.org/3/a-av045f.pdf
- Gurnell, A., Lee, M. et Souch, C. 2007. Urban rivers: Hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography Compass*, vol. 1, n° 5, p. 1118–1137. doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00058.x
- GWPEA (Partenariat mondial pour l'eau en Afrique de l'Est). 2016. *Building Resilience to Drought: Learning from Experience in the Horn of Africa*. Entebbe, Ouganda, Integrated Drought Management Programme in the Horn of Africa. www.droughtmanagement.info/literature/GWP\_HOA\_Building\_Resilience\_to\_Drought\_2016.pdf
- Haase, D. 2016. *Nature-Based Solutions for Cities: A New Tool for Sustainable Urban Land Development?* Urbanization and Global Environmental Change (UGEC) Viewpoints. ugecviewpoints.wordpress.com/2016/05/17/nature-based
- Haddaway, N. R., Brown, C., Eggers, S., Josefsson, J., Kronvang, B., Randall, N. et Uusi-Kämpä, J. 2016. The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, vol. 5, n° 1, p. 18. doi.org/10.1186/s13750-016-0067-6
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C. et Schulin, R. 2012. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 153, pp. 65–74. doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.009
- Hall, J. W., Grey, D., Garrick, D., Fung, F., Brown, C., Dadson, S. G. et Sadoff, C. W. 2014. Coping with the curse of freshwater variability: Institutions, infrastructure, and information for adaptation. *Science*, vol. 346, n° 6208, p. 429–430. doi.org/10.1126/science.1257890
- Halliday, S. J., Skeffington, R. A., Wade, A. J., Bowes, M. J., Read, D. S., Jarvie, H. P. et Loewenthal, M. 2016. Riparian shading controls instream spring phytoplankton and benthic algal growth. *Environmental Science: Processes & Impacts*, vol. 18, p. 677–689. doi.org/10.1039/C6EM00179C
- Hanson, C., Ranganathan, J., Iceland, C. et Finisdore, J. 2012. *The Corporate Ecosystem Services Review: Guidelines for Identifying Business Risks and Opportunities Arising from Ecosystem Change*. Version 2.0. Washington, Institut des ressources mondiales (WRI). www.wri.org/publication/corporate-ecosystem-services-review
- Herrera Amighetti, C. 2015. *Grupo de Infraestructura Verde* [Groupe d'infrastructure verte]. Lima, Association interaméricaine des autorités de régulation de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (ADERASA). www.sunass.gob.pe/fiar/aderasa/1cherrera.pdf. (En espagnol.)
- Hildebrandt, A. et Eltahir, E. A. 2006. Forest on the edge: Seasonal cloud forest in Oman creates its own ecological niche. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n° 11. doi.org/10.1029/2006GL026022
- Hipsey, M. R. et Arheimer, B. 2013. Challenges for water-quality research in the new IAHS decade on: Hydrology Under Societal and Environmental Change. B. Arheimer et al. (eds.), *Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World*. Wallingford, Royaume-Uni, International Association of Hydrological Sciences (Association internationale des sciences hydrologiques) Press, pp. 17–29.
- Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T. et Kimoto, M. 2008. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 53, n° 4, p. 754–772. doi.org/10.1623/hysj.53.4.754
- Hoekstra, A. Y. et Mekonnen, M. M. 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, n° 9, p. 3232–3237. doi.org/10.1073/pnas.1109936109
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S. et Schmid, B. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, vol. 75, n° 1, pp. 3–35. doi.org/10.1890/04-0922

H

J

K

- Horn, O. et Xu, H. 2017. *Nature-Based Solutions for Sustainable Urban Development*. ICLEI Briefing Sheet. Bonn, Allemagne, Les Gouvernements locaux pour le développement durable. [unfccc.int/files/parties\\_observers/submissions\\_from\\_observers/application/pdf/778.pdf](http://unfccc.int/files/parties_observers/submissions_from_observers/application/pdf/778.pdf)
- Horwitz, P., Finlayson, C. M. et Weinstein, P. 2012. *Notre santé dépend de celle des zones humides : une étude de l'interaction entre les zones humides et la santé humaine*. Rapport technique Ramsar n° 6. Gland/genève, Suisse, Secrétariat de la Convention de Ramsar sur les zones humides/Organisation mondiale de la santé (OMS). [archive.ramsar.org/pdf/lib/rtr6-health.pdf](http://archive.ramsar.org/pdf/lib/rtr6-health.pdf)
- Huffaker, R. 2008. Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*, vol. 44, n° 7. [doi.org/10.1029/2007WR006183](https://doi.org/10.1029/2007WR006183)
- Hulsman, H., Van der Meulen, M. et Van Wesenbeeck, B. 2011. *Green Adaptation: Making Use of Ecosystems Services for Infrastructure Solutions in Developing Countries*. Delft, Pays-Bas, Deltares. [www.solutionsforwater.org/wp-content/uploads/2012/01/Deltares-Report-2011-Green-Adaptation.pdf](http://www.solutionsforwater.org/wp-content/uploads/2012/01/Deltares-Report-2011-Green-Adaptation.pdf)
- Huinink, J. E. et Droogers, P. 2011. *Physiographical Baseline Survey for the Upper Tana Catchment: Erosion and Sediment Yield Assessment*. Préparé pour la Water Resources Management Authority (WRMA) du Kenya. Wageningen, Pays-Bas, Future Water. [www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2013/01/2011\\_TanaSed\\_FW-1121.pdf](http://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2013/01/2011_TanaSed_FW-1121.pdf)
- Huntington, H. P. 2000. Using traditional ecological knowledge in science: Methods and applications. *Ecological Applications*, vol. 10, n° 5, p. 1270–1274. [doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1270:UTEKIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1270:UTEKIS]2.0.CO;2)
- Huntington, T. G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, vol. 319, n° 1–4, p. 83–95. [doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003)
- ICMA (International Capital Market Association). 2015. *Green Bond Principles, 2015: Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds*, 27 mars 2015. [www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/GBP\\_2015\\_27-March.pdf](http://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/GBP_2015_27-March.pdf)
- Ilstedt, U., Bargaúes Tobella, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Sanou, J., Benegas, L., Murdiyarsou, D., Laudon, H., Sheil, D. et Malmer, A. 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, Vol. 6, n° 21930. [doi.org/10.1038/srep21930](https://doi.org/10.1038/srep21930)
- Indepen. 2014. *Discussion Paper on the Potential for Catchment Services in England – Wessex Water, Severn Trent Water and South West Water*. Londres, Indepen Limited.
- Initiative « Équateur ». s.d. Site Internet de l'Initiative « Équateur ». [www.equatorinitiative.org](http://www.equatorinitiative.org)
- Itaipu Binacional. s.d. *Cultivando água boa* [Cultivating Good Water]. Site Internet d'Itaipu Binacional. [www.itaipu.gov.br/meioambiente/cultivando-agua-boa](http://www.itaipu.gov.br/meioambiente/cultivando-agua-boa). (En portugais).
- Ito, S. 1997. A framework for comparative study of civilizations. *Comparative Civilizations Review*, vol. 36, n° 36, Art. 4.
- Jackson, B. M., Wheeler, H. S., McIntyre, N. R., Chell, J., Francis, O. J., Frogbrook, Z., Marshall, M., Reynolds, B. et Solloway, I. 2008. The impact of upland land management on flooding: Insights from a multiscale experimental and modelling programme. *Journal of Flood Risk Management*, vol. 1, n° 2, p. 71–80. [doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00009.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00009.x)
- Jacob, B., Mawson, A. R., Payton, M. et Grignard, J. C. 2008. Disaster mythology and fact: Hurricane Katrina and social attachment. *Public Health Reports*, vol. 123, n° 5, pp. 555–566. [doi.org/10.1177/003335490812300505](https://doi.org/10.1177/003335490812300505)
- Jansson, A. M., Hammer, M., Folcke, C. and Costanza, R. (eds.). 1995. *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*. Washington DC, Island Press.
- Jøneh-Clausen, T. 2004. « ...Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005 » *Why, What and How?* TEC Background Papers n° 10. Stockholm, Partenariat mondial pour l'eau. [www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/10-iwrm-and-water-efficiency-plans-by-2005.-why-what-and-how-2004.pdf](http://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/10-iwrm-and-water-efficiency-plans-by-2005.-why-what-and-how-2004.pdf)
- Jouravlev, A. 2003. *Los municipios y la gestión de los recursos hídricos* [Les municipalités et la gestion des ressources en eau]. Serie recursos naturales e infraestructura 66. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6429/1/S1500777\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6429/1/S1500777_es.pdf) (En espagnol).
- Jupiter, S. 2015. *Policy Brief: Valuing Fiji's Ecosystems for Coastal Protection*.
- Kassam, A., Friedrich, T. et Derpsch, R. 2017. *Global Spread of Conservation Agriculture: Interim Update 2015/16*. Résumé étendu pour le 7ème Congrès Mondial d'Agriculture de Conservation, 1-4 août 2017, Rosario, Argentine.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. et Pretty, J. 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agriculture Sustainability*, vol. 7, n° 4, pp. 292–320.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Reeves, R., Pretty, J. et De Moraes Sá, J. C. 2011a. Production systems for sustainable intensification: Integrated productivity with ecosystem services. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, vol. 20, n° 2, pp. 39–45.
- Kassam, A., Mello, I., Bartz, H., Goddard, T., Friedrich, T., Laurent, F. et Uphoff, N. T. 2012. *Harnessing Ecosystem Services in Brazil and Canada*. Résumé présenté à la conférence Planet Under Pressure, Londres, 26-29 mars 2012.
- Kassam, A., Stoop, W. et Uphoff, N. 2011b. Review of SRI modifications in rice crop and water management and research issues for making further improvements in agricultural and water productivity. *Paddy and Water Environment*, vol. 9, n° 1, pp. 163–180. [doi.org/10.1007/s10333-011-0259-1](https://doi.org/10.1007/s10333-011-0259-1)

- Kazmierczak, A. et Carter, J. 2010. *Adaptation to Climate Change using Green and Blue Infrastructure: A Database of Case Studies*. Manchester, Royaume-Uni, Université de Manchester.
- Keys, P. W., Wang-Erlandson, L., Gordon L. J., Galaz, V. et Ebbesson, J. 2017. Approaching moisture recycling governance. *Global Environmental Change*, vol. 45, pp. 15–23. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.007
- Keys, P. W., Wang-Erlandsson, L. et Gordon, L. J. 2016. Revealing invisible water: Moisture recycling as an ecosystem service. *PLoS ONE*, vol. 11, n° 3, e0151993. doi.org/10.1371/journal.pone.0151993
- Kremer, P., Hamstead, Z., Haase, D., McPhearson, T., Frantzeskaki, N., Andersson, E., Kabish, N., Larondelle, N., Lorange Rall, E., Voigt, A., Baró, F., Bertram, C., Gómez-Baggethum, E., Hansen, R., Kaczorowska, A., Kain, J., Kronenberg, J., Langemeyer, J., Pauleit, S., Rehdanz, K., Schewenius, M., Van Ham, C., Wurster, D. et Elmqvist, T. 2016. Key insights for the future of urban ecosystem services research. *Ecology and Society*, vol. 21, n° 2, Art. 29. doi.org/10.5751/ES-08445-210229
- Labat, D., Goddérés, Y., Probst, J. L. et Guyot, J. L. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*, vol. 27, n° 6, pp. 631–642. doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.02.020
- LACC/TNC (Latin America Conservation Council/The Nature Conservancy). 2015. *Natural Infrastructure: An Opportunity for Water Security in 25 Cities in Latin America. Invest in Nature to Increase Water Security*. LACC/TNC. [laconservationcouncil.org/publico/files/news/Top-25-Opp-Cities-Report---2015.pdf](http://laconservationcouncil.org/publico/files/news/Top-25-Opp-Cities-Report---2015.pdf)
- Lacombe, G. et Pierret, A. 2013. Hydrological impact of war-induced deforestation in the Mekong Basin. *Ecohydrology*, vol. 6, n° 5, p. 901–903. doi.org/10.1002/eco.1395
- Lansing, J. S. 1987. Balinese ‘water temples’ and the management of irrigation. *American Anthropologist*, vol. 89, n° 2, p. 326–341. doi.org/10.1525/aa.1987.89.2.02a00030
- Lasage, R., Aerts, J., Mutiso, G.-C. M. et De Vries, A. 2008. Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 33, n° 1–2, p. 67–73. doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.009
- Laurent, F., Leturcq, G., Mello, I., Corbonnois, J. et Verdum, R. 2011. La diffusion du semis direct au Brésil, diversité des pratiques et logiques territoriales: l'exemple de la région d'Itaipu au Paraná. *Confins*, vol. 12. [confins.revues.org/7143](http://confins.revues.org/7143)
- Leadley, P. W., Krug, C. B., Alkemade, R., Pereira, H. M., Sumaila, U. R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L. S. L., Van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S. R. et Mumby, P. J. 2014. *Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An Assessment of Biodiversity Trends, Policy Scenarios and Key Actions*. Série technique de la CDB n° 78. Montreal, PQ, CBD (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique). [www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf](http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf)
- Liebman, M. et Schulte, L. A. 2015. Enhancing agroecosystem performance and resilience through increased diversification of landscapes and cropping systems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, vol. 3, n° 41. doi.org/10.12952/journal.elementa.000041.
- Liquete, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B. et Masi, F. 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control: Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, vol. 22 (Partie B), pp. 392–401. doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.011
- Lloret, P. 2009. *FONAG, a Trust Fund as a Financial Instrument for Water Conservation and Protection in Quito, Ecuador*. Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean, Circular No. 29. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC), pp. 5–6. [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/1/Carta29\\_en.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/1/Carta29_en.pdf)
- Lloyd, S. D., Wong, T. H. F. et Chesterfield, C. J. 2002. *Water Sensitive Urban Design: A Stormwater Management Perspective*. Victoria, Australie, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Université Monash.
- Love, D., Van der Zaag, P., Uhlenbrook, S. et Owen, R. 2011. A water balance modelling approach to optimising the use of water resources in ephemeral sand rivers. *River Research and Applications*, vol. 27, n° 7, p. 908–925. doi.org/10.1002/rra.1408
- Low, P. S. (ed.). 2013. *Economic and Social Impacts of Desertification, Land Degradation and Drought*. White Paper I. 2ème Conférence scientifique de l'CNULCD, préparé avec la contribution d'un panel international de scientifiques. Paris, Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.
- Lubber, M. 2016. Ceres Q&A with Monika Freyman: ‘This market will continue to evolve quickly’. *Forbes*, 14 octobre 2016. [www.forbes.com/sites/mindylubber/2016/10/14/ceres-qa-with-monika-freyman-this-market-will-continue-to-evolve-quickly/#eddb6c2339ca](http://www.forbes.com/sites/mindylubber/2016/10/14/ceres-qa-with-monika-freyman-this-market-will-continue-to-evolve-quickly/#eddb6c2339ca)
- Lundqvist, J. et Turton, A. R. 2001. Social, institutional and regulatory Issues. Č. Maksimović et J. A. Tejada-Guibert (eds.), *Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?* Londres, International Water Association (IWA).
- Maison Blanche. 2015. *Presidential Memorandum: Mitigating Impacts on Natural Resources from Development and Encouraging Related Private Investment*. Washington, Maison Blanche. Bureau du porte-parole. [obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/11/03/mitigating-impacts-natural-resources-development-and-encouraging-related](http://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/11/03/mitigating-impacts-natural-resources-development-and-encouraging-related).
- Maltby, E., 1991. Wetland management goals: Wise use and conservation. *Journal of Landscape and Urban Planning*, vol. 20, n° 1–3, pp. 9–18. doi.org/10.1016/0169-2046(91)90085-Z
- Mander, M., Jewitt, G., Dini, J., Glenday, J., Blignaut, J., Hughes, C., Marais, C., Maze, K., Van der Waal, B. et Mills, A. 2017. Modelling potential hydrological returns from investing in ecological infrastructure: Case studies from the Baviaanskloof-Tsitsikamma and uMngeni catchments, South Africa. *Ecosystem Services*, vol. 27 (Partie B), pp. 261–271. doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.003

L

M

- Matamoros, V., Arias, C., Brix, H. et Bayona, J. M. 2009. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *Water Research*, vol. 43, n° 1, pp. 55–62. doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.005
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. et Thebo, A. 2015. Global wastewater and sludge production: Treatment and use. P. Drechsel, M. Qadir et D. Wichelns (eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Dordrecht, Pays-Bas, Springer, pp. 15-38.
- Mazdiyasn, O. et AghaKouchak, A. 2015. Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, n° 3, pp. 11484–11489. doi.org/10.1073/pnas.1422945112
- McCartney, M. et Dalton, J. 2015. *Built or Natural Infrastructure: A False Dichotomy*. Thrive Blog. Site Internet du programme de recherche du CGIAR sur l'eau, la terre et les écosystèmes. wle.cgiar.org/thrive/2015/03/05/built-or-natural-infrastructure-false-dichotomy.
- McCartney, M. et Smakhtin, V. 2010. *Water Storage in an Era of Climate Change: Addressing the Challenge of Increasing Rainfall Variability*. Blue Paper. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). doi.org/10.5337/2010.012
- McCartney, M. P., Neal, C. et Neal, M. 1998. Use of deuterium to understand runoff generation in a headwater catchment containing a dambo. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 2, n° 1, pp. 65-76. doi.org/10.5194/hess-2-65-1998
- McCartney, M., Cai, X. et Smakhtin, V. 2013. *Evaluating the Flow Regulating Functions of Natural Ecosystems in the Zambezi River Basin*. IWMI Research Reports Series No. 148. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). doi.org/10.5337/2013.206
- McIntyre, N. et Marshall, M. 2010. Identification of rural land management signals in runoff response. *Hydrological Processes*, vol. 24, n° 24, p. 3521–3534. doi.org/10.1002/hyp.7774
- Mekonnen, A., Leta, S. et Njau, K. N. 2015. Wastewater treatment performance efficiency of constructed wetlands in African countries: A review. *Water Science and Technology*, vol. 71, n° 1, pp. 1–8. doi.org/10.2166/wst.2014.483
- Mello, I. et Van Raij, B. 2006. No-till for sustainable agriculture in Brazil. *Proceedings of the World Association for Soil and Water Conservation*, P1, pp. 49–57.
- Michell, N. 2016. *How to Plug the Gap in Water Investments*. Development Finance. news.devfinance.net/how-to-plug-the-gap-in-water-investments?utm\_source=160613&utm\_medium=newsletter&utm\_campaign=devfinance
- Mielke, E., Diaz Anadon, L. et Narayanamurti, V. 2010. *Water Consumption of Energy Resource Extraction, Processing, and Conversion: A review of the Literature for Estimates of Water Intensity of Energy-Resource Extraction, Processing to Fuels, and Conversion to Electricity*. Energy Technology Innovation Policy Discussion Paper No. 2010–15. Cambridge, Mass., Belfer Center for Science and International Affairs/Harvard Kennedy School, Université d'Harvard. www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/ETIP-DP-2010-15-final-4.pdf
- Mills, A. J., Van der Vyver, M., Gordon, I. J., Patwardhan, A., Marais, C., Blignaut, J., Sigwela, A. et Kgope, B. 2015. Prescribing innovation within a large-scale restoration programme in degraded subtropical thicket in South Africa. *Forests*, vol. 6, n° 11, pp. 4328–4348. doi.org/10.3390/f6114328
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A. et Vecchia A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, vol. 438, p. 347–350. doi.org/10.1038/nature04312
- Ministère de l'agriculture de Jordanie. 2014. *Updated Rangeland Strategy for Jordan*. Amman, Directorate of Rangelands and Badia Development, Ministère de l'agriculture. moa.gov.jo/Portals/0/pdf/English\_Strategy.pdf
- Minkman, E., Van der Sanden, M. et Rutten, M. 2017. Practitioners' viewpoints on citizen science in water management: A case study in Dutch regional water resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 21, n° 1, pp. 153–167. doi.org/10.5194/hess-21-153-2017
- Mitsch, W. et Jørgensen, S. 2004. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. R. 2007. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. Berkeley/Los Angeles, Calif., University of California Press.
- Morrison, E. H. J., Banzaert, A., Upton, C., Pacini, N., Pokorný, J. et Harper, D. M. 2014. Biomass briquettes: A novel incentive for managing papyrus wetlands sustainably? *Wetlands Ecology and Management*, vol. 22, n° 2, pp. 129–141. doi.org/10.1007/s11273-013-9310-x
- Muller, M., Biswas, A., Martin-Hurtado, R. et Tortajada, C. 2015. Built infrastructure is essential. *Science*, vol. 349, n° 6248, pp. 585–586. doi.org/10.1126/science.aac7606
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J. et Han, Z. 2013. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, n° 1, pp. 47–52. doi.org/10.1016/j.cosust.2013.02.002
- Munich Re. 2013. *Severe Weather in Asia: Perils, Risks, Insurance*. Munich, Allemagne, Munich Re.
- Narayan, S., Cuthbert, R., Neal, E., Humphries, W., Ingram, J. C. 2015. *Protecting against Coastal Hazards in Manus and New Ireland Provinces, Papua New Guinea: An Assessment of Present and Future Options*. Rapport technique de Wildlife Conservation Society en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Goroka, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Wildlife Conservation Society. programs.wcs.org/png/About-Us/News/articleType/ArticleView/articleId/8335/Coastal-Hazards-Assessment-report-released.aspx

- NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2017. NASA, NOAA Data Show 2016 Warmest Year on Record Globally. Communiqué de presse. Washington, NASA. [www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally](http://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally).
- Naumann, S., Kaphengst, T., McFarland, K. et Stadler, J. 2014. *Nature-Based Approaches for Climate Change Mitigation and Adaptation: The Challenges of Climate Change – Partnering with Nature*. Bonn, Allemagne, Office fédéral allemand de protection de la nature (BfN).
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., Van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E. et Wittmer, H. 2017. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, vol. 579, pp. 1215–1227. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106)
- Newman, J. R., Duenas-Lopez, M., Acreman, M. C., Palmer-Felgate, E. J., Verhoeven, J. T. A., Scholz, M. et Maltby, E. 2015. *Do On-Farm Natural, Restored, Managed and Constructed Wetlands Mitigate Agricultural Pollution in Great Britain and Ireland?: A Systematic Review*. Londres, Département de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales du Royaume-Uni (DEFRA). [nora.nerc.ac.uk/509502/1/N509502CR.pdf](http://nora.nerc.ac.uk/509502/1/N509502CR.pdf)
- Newman, P. 2010. Green urbanism and its application to Singapore. *Environment and Urbanization Asia*, vol. 1, n° 2, pp. 149–170. [doi.org/10.1177/097542531000100204](https://doi.org/10.1177/097542531000100204)
- Nobre, A. D. 2014. *The Future Climate of Amazonia: Scientific Assessment Report*. São José dos Campos, Brésil, Articulación Regional Amazónica (ARA)/Earth System Science Center (CCST)/Institut national de recherche spatiale (INPE)/Institut national de recherche amazonien (INPA). [www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The\\_Future\\_Climate\\_of\\_Amazonia\\_Report.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf)
- O’Gorman, P. A. 2015. Precipitation extremes under climate change. *Current Climate Change Reports*, vol. 1, n° 2, pp. 49–59. [doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3](https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3)
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2012. *Perspectives de l’environnement à l’horizon 2050 : Les conséquences de l’inaction*. Paris, Éditions OCDE. [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/perspectives-de-l-environnement-de-l-ocde-a-l-horizon-2050\\_env\\_outlook-2012-fr](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/perspectives-de-l-environnement-de-l-ocde-a-l-horizon-2050_env_outlook-2012-fr)
- \_\_\_\_\_. 2013. *Compendium des indicateurs agro-environnementaux de l’OCDE*. Paris, Éditions OCDE. [http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/compendium-des-indicateurs-agro-environnementaux-de-l-ocde\\_9789264181243-fr](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/compendium-des-indicateurs-agro-environnementaux-de-l-ocde_9789264181243-fr)
- \_\_\_\_\_. 2015a. *Tableau 1 : Aide publique au développement nette des membres du CAD et des autres donateurs en 2014*. Site Internet de l’OCDE. <https://www.oecd.org/fr/developpement/stats/documentupload/ODA%202014%20Technical%20Note%20FR.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2015b. *Politiques agricoles : suivi et évaluation 2015*. Paris, Éditions de l’OCDE. [http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/politiques-agricoles-suivi-et-evaluation-2015\\_agr\\_pol-2015-fr](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/politiques-agricoles-suivi-et-evaluation-2015_agr_pol-2015-fr)
- \_\_\_\_\_. 2016. *Gestion des risques de sécheresse et d’inondation dans l’agriculture : Enseignements pour les politiques publiques*. Paris, Éditions OCDE. [http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/gestion-des-risques-de-secheresse-et-d-inondation-dans-l-agriculture\\_9789264254459-fr](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/gestion-des-risques-de-secheresse-et-d-inondation-dans-l-agriculture_9789264254459-fr)
- \_\_\_\_\_. 2017. *Diffuse Pollution, Degraded Waters: Emerging Policy Solutions*. Paris, Éditions OCDE. [doi.org/10.1787/9789264269064-en](https://doi.org/10.1787/9789264269064-en)
- \_\_\_\_\_. s.d. *OCDE Données : Prévisions du PIB à long terme*. <https://data.oecd.org/fr/gdp/previsions-du-pib-a-long-terme.htm> (Consulté en juillet 2017).
- OCDE/CEPALC. 2016. Examens environnementaux de l’OCDE : Chili 2016. Paris, Éditions OCDE. [http://www.oecd-ilibrary.org/environment/examens-environnementaux-de-l-ocde-chili-2016-version-abreege\\_9789264269163-fr](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/examens-environnementaux-de-l-ocde-chili-2016-version-abreege_9789264269163-fr)
- OIT (Organisation internationale du travail). 1989. *Convention relative aux peuples indigènes et tribaux n° 169. Convention concernant les peuples indigènes et tribaux dans les pays indépendants (Entrée en vigueur : 5 septembre 1991)*. Genève, 76ème session de la CIT (27 juin 1989). [www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::p12100\\_instrument\\_id:312314](http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::p12100_instrument_id:312314)
- \_\_\_\_\_. 2017. *Indigenous Peoples and Climate Change: From Victims to Change Agents through Decent Work*. Genève, OIT. [www.ilo.org/global/topics/indigenous-tribal/WCMS\\_551189/lang-en/index.htm](http://www.ilo.org/global/topics/indigenous-tribal/WCMS_551189/lang-en/index.htm)
- Oki, T. et Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, vol. 313, n° 5790, pp. 1068–1072. [doi.org/10.1126/science.1128845](https://doi.org/10.1126/science.1128845)
- OMM (Organisation météorologique mondiale). 2006 : *Gestion intégrée des crues: aspects sociaux et participation des parties prenantes*. OMM/Programme associé de gestion des crues (APFM) du Partenariat mondial pour l’eau (GWP). Document technique n° 4 WMO n° 1008. Genève, OMM. [http://www.apfm.info/pdf/ifm\\_social\\_aspects\\_Fr.pdf](http://www.apfm.info/pdf/ifm_social_aspects_Fr.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2007. *Economic Aspects of Integrated Flood Management*, WMO/Global Water Partnership (GWP) Associated Programme on Flood Management (APFM) Technical Document No. 5, WMO No. 1010. Genève, OMM. [www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm\\_economic\\_aspects/Economic\\_Aspects\\_of\\_IFM\\_En.pdf](http://www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm_economic_aspects/Economic_Aspects_of_IFM_En.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2009. *Gestion intégrée des crues: document de fond*. OMM/Programme associé de gestion des crues (APFM) du Partenariat mondial pour l’eau (GWP). WMO n° 1047. Genève, OMM. [http://www.floodmanagement.info/publications/concept\\_paper\\_f.pdf](http://www.floodmanagement.info/publications/concept_paper_f.pdf)

- \_\_\_\_\_. 2017. *Selecting Measures and Designing Strategies for Integrated Flood Management: A Guidance Document*. Genève, OMM. [www.floodmanagement.info/publications/guidance%20-%20selecting%20measures%20and%20designing%20strategies\\_e\\_web.pdf](http://www.floodmanagement.info/publications/guidance%20-%20selecting%20measures%20and%20designing%20strategies_e_web.pdf)
- ONU-DI (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel). 2013. *Déclaration de Lima : Vers un développement industriel inclusif et durable*. Adoptée lors de la 15<sup>ème</sup> Session de la Conférence générale de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel, Lima, 2 décembre 2013. [https://www.unido.org/sites/default/files/2014-04/Lima\\_Declaration\\_FR\\_web\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2014-04/Lima_Declaration_FR_web_0.pdf)
- ONU-Eau. 2010. *Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water*. Note de politique. [www.unwater.org/publications/climate-change-adaptation-pivotal-role-water/](http://www.unwater.org/publications/climate-change-adaptation-pivotal-role-water/)
- \_\_\_\_\_. 2013. *Analytical Brief on Water Security and the Global Water Agenda*. Hamilton, Ont., Canada, Université des Nations Unies (UNU). [www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/](http://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/)
- \_\_\_\_\_. 2016a. *Towards a Worldwide Assessment of Freshwater Quality: A UN-Water Analytical Brief*. ONU-Eau. [www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UN\\_Water\\_Analytical\\_Brief\\_20161111\\_02\\_web\\_pages.pdf](http://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UN_Water_Analytical_Brief_20161111_02_web_pages.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016b. *Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Genève, ONU-Eau. [www.unwater.org/app/uploads/2016/08/Water-and-Sanitation-Interlinkages.pdf](http://www.unwater.org/app/uploads/2016/08/Water-and-Sanitation-Interlinkages.pdf)
- Oppla. s.d. *Barcelona: Nature-Based Solutions (NBS) Enhancing Resilience to Climate Change*. Site Internet d'Oppla, études de cas. [oppla.eu/casestudy/17283](http://oppla.eu/casestudy/17283)
- Ostrom, E. 2008. The challenge of common-pool resources. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, vol. 50, n° 4, pp. 8–21. doi.org/10.3200/ENVT.50.4.8-21
- Palmer, M. A., Liu, J., Matthews, J. H., Mumba, M. et D'Odorico, P. 2015. Water security: Gray or green? *Science*, vol. 349, n° 6248, pp. 584–585. doi.org/10.1126/science.349.6248.584-a
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M. et Stringer, L. (eds.). 2008. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Petaling Jaya, Malaisie/Wageningen, Pays-Bas, Global Environment Centre/Wetlands International.
- Parkyn, S. 2004. *Review of Riparian Buffer Zone Effectiveness*. Étude technique du MAF n° 2004/05. Wellington, Ministry of Agriculture and Forestry (MAF) of New Zealand. [www.crc.govt.nz/publications/Consent%20Notifications/upper-waitaki-submitter-evidence-maf-technical-paper-review-riparian-buffer-zone-effectiveness.pdf](http://www.crc.govt.nz/publications/Consent%20Notifications/upper-waitaki-submitter-evidence-maf-technical-paper-review-riparian-buffer-zone-effectiveness.pdf)
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P. et co-auteurs. 2007. Technical Summary. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press, pp. 23–78. [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts.pdf)
- Pavelic, P., Brindha, K., Amarnath, G., Eriyagama, N., Muthuwatta, L., Smakhtin, V., Gangopadhyay, P. K., Malik, R. P. S., Mishra, A., Sharma, B. R., Hanjra, M. A., Reddy, R. V., Mishra, V. K., Verma, C. L. et Kant, L. 2015. *Controlling Floods and Droughts through Underground Storage: From Concept to Pilot Implementation in the Ganges River Basin*. IWMI Research Report No. 165. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). doi.org/10.5337/2016.200
- Pavelic, P., Srisuk, K., Saraphirom, P., Nadee, S., Pholkern, K., Chusanathas, S., Munyou, S., Tangsutthinon, T., Intarasut, T. et Smakhtin, V. 2012. Balancing-out floods and droughts: Opportunities to utilize floodwater harvesting and groundwater storage for agricultural development in Thailand. *Journal of Hydrology*, vol. 470–471, pp. 55–64. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.007
- Perrot-Maître, D. et Davis, P. 2001. *Case Studies of Markets and Innovative Financial Mechanisms for Water Services from Forests*. Washington, Forest Trends, The Katoomba Group. [www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_134.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_134.pdf)
- Peterson, L. C. et Haug, G. H. 2005. Climate and the collapse of Maya civilization. *American Scientist*, vol. 93, n° 4, pp. 322–329.
- Pittock, J. et Xu, M. 2010. *Controlling Yangtze River Floods: A New Approach*. World Resources Report Case Study. Washington, Institut des ressources mondiales. [www.wri.org/sites/default/files/uploads/wrr\\_case\\_study\\_controlling\\_yangtze\\_river\\_floods.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/uploads/wrr_case_study_controlling_yangtze_river_floods.pdf)
- Plieninger, T., Bieling, C., Fagerholm, N., Byg, A., Hartel, T., Hurley, P., López-Santiago, C. A., Nagabhatla, N., Oteros-Rozas, E., Raymond, C. M., Van der Horst, D. et Huntsinger, L. 2015. The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 14, pp. 28–33. doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.006
- PNUD/BIOFIN (Programme des Nations Unies pour le développement/Global Biodiversity Finance Initiative). 2016. *Le Manuel BIOFIN : Mobiliser des ressources financières pour la biodiversité et le développement durable*. New York, PNUD. <http://www.biodiversityfinance.net/sites/default/files/content/publications/Le%20Manuel%20BIOFIN%20Mobiliser%20des%20ressources%20financi%C3%83%C2%A8res%20pour%20la%20biodiversit%C3%83%C2%A9%20et%20le%20d%C3%83%C2%A9veloppement%20durable-UNDP1.pdf>
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) 2015. *Promoting Ecosystems for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation: Opportunities for Integration*. Discussion Paper. Genève, PNUE, Service post-conflit et gestion des catastrophes. [postconflict.unep.ch/publications/Eco-DRR/Eco-DRR\\_Discussion\\_paper\\_2015.pdf](http://postconflict.unep.ch/publications/Eco-DRR/Eco-DRR_Discussion_paper_2015.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016a. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment*. Nairobi, PNUE. [uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep\\_wwqa\\_report\\_web.pdf](http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf)

- \_\_\_\_\_. 2016b. *River Partners: Applying Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction (Eco-DRR) in Integrated Water Resource Management (IWRM) in the Lukaya Basin, Democratic Republic of the Congo*. Nairobi, PNUE. [postconflict.unep.ch/publications/DR Congo/DR\\_Congo\\_Eco\\_DRR\\_case\\_study\\_2016.pdf](http://postconflict.unep.ch/publications/DR Congo/DR_Congo_Eco_DRR_case_study_2016.pdf)
- PNUE-DHI/IUCN/TNC (Programme des Nations Unies pour l'environnement-DHI Partenariat/Union internationale pour la conservation de la nature/The Nature Conservancy). 2014. *Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-Based Management Approaches for Water-Related Infrastructure Projects*. PNUE. [web.unep.org/ecosystems/resources/publications/green-infrastructure-guide-water-management](http://web.unep.org/ecosystems/resources/publications/green-infrastructure-guide-water-management)
- Power, A. G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 365, n° 1554, pp. 2959–2971. [doi.org/10.1098/rstb.2010.0143](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143)
- Pretty, J. N., Noble, A. D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R. E., Penning de Vries, F. W. et Morison, J. I. 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science and Technology*, vol. 40, n° 4, pp. 1114–9. [doi.org/10.1021/es051670d](https://doi.org/10.1021/es051670d)
- PRI (Principes pour l'investissement responsable). 2006. *Principles for Responsible Investment*. New York, Principes pour l'investissement responsable. [www.unglobalcompact.org/library/290](http://www.unglobalcompact.org/library/290)
- Rangachari, R., Sengupta, N., Iyer, R., Baneri, P. et Singh, S. 2000. *Large Dams: India's Experience*. Le Cap, Commission mondiale sur les barrages. Raymond, C. M., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Kabisch, N., De Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Muhari, L. et Calfapietra, C. 2017. An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-Based Solutions Projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Wallingford, Royaume-Uni, Centre d'écologie et d'hydrologie (CEH). [www.eclipse-mechanism.eu/apps/Eclipse\\_data/website/EKLIPSE\\_Report1-NBS\\_FINAL\\_Complete-08022017\\_LowRes\\_4Web.pdf](http://www.eclipse-mechanism.eu/apps/Eclipse_data/website/EKLIPSE_Report1-NBS_FINAL_Complete-08022017_LowRes_4Web.pdf)
- Raymond, C. M. et Kenter, J. O. 2016. Transcendental values and the valuation and management of ecosystem services. *Ecosystem Services*, vol. 21 (Partie B), pp. 241–257. [doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.018](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.018)
- Renaud, F. G., Sudmeier-Rieux, K. et Estrella, M. (eds.). 2013. *The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction*. Tokyo, United Nations University Press.
- Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M. H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson, S. et Rodell, M. 2015. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*, vol. 51, n° 7, pp. 5217–5238. [doi.org/10.1002/2015WR017349](https://doi.org/10.1002/2015WR017349)
- Rogers, J. D., Kemp, G. P., Bosworth, H. J. et Seed, R. B. 2015. Interaction between the U.S. Army Corps of Engineers and the Orleans Levee Board preceding the drainage canal wall failures and catastrophic flooding of New Orleans in 2005. *Water Policy*, vol. 17, n° 4, pp. 707–723. [doi.org/10.2166/wp.2015.077](https://doi.org/10.2166/wp.2015.077)
- Room for the River. s.d. *Dutch Water Programme Room for the River. Factsheets*. Pays-Bas, Room for the River. [www.ruimtevoorderivier.nl/english/](http://www.ruimtevoorderivier.nl/english/)
- \_\_\_\_\_. s.d. *Making room for the Dutch approach*. Factsheets. Pays-Bas, Room for the River. [www.ruimtevoorderivier.nl/english/](http://www.ruimtevoorderivier.nl/english/)
- Rosegrant, M. W., Cai, X. et Cline, S. A. 2002. *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*. Washington, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI). [ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/92523](http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/92523)
- Rost, S., Gerten, D., Hoff, H., Lucht, W., Falkenmark, M. et Rockström, J. 2009. Global potential to increase crop production through water management in rainfed agriculture. *Environmental Research Letters*, vol. 4, n° 4. [doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044002)
- Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., Kumar, R. et Davidson, N. 2012. *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité pour l'eau et les zones humides*. Londres/Bruxelles/Gland, Suisse, Institut pour la politique environnementale européenne (IEEP)/Secrétariat de la Convention de Ramsar. [http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/04/TEEB\\_WaterWetlands\\_ExecSum\\_2013-FR.pdf](http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/04/TEEB_WaterWetlands_ExecSum_2013-FR.pdf)
- Sadoff, C. W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. et Wiberg, D. 2015. *Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*. Oxford, Royaume-Uni, Université d'Oxford. [www.water.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2015/04/SCHOOL-OF-GEOGRAPHY-SECURING-WATER-SUSTAINING-GROWTH-DOWNLOADABLE.pdf](http://www.water.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2015/04/SCHOOL-OF-GEOGRAPHY-SECURING-WATER-SUSTAINING-GROWTH-DOWNLOADABLE.pdf)
- Sakalauskas, K. M., Costa, J. L., Laterra, P., Hidalgo, L. et Aguirrezabal, L. A. N. 2001. Effects of burning on soil-water content and water use in a *Paspalum quadrifarium* grassland. *Agricultural Water Management*, vol. 50, n° 2, pp. 97–108. [doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00095-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00095-6)
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. et Zahoor, M. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, vol. 130, pp. 1–13. [doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007)
- Sauvé, S. et Desrosiers, M. 2014. A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, vol. 8, n° 15. [doi.org/10.1186/1752-153X-8-15](https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-15)
- Sayers, P., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Yuanyuan, L., Fuxin, S., Yiwei, C., Kang, W., Le Quesne, T., Wang, L. et Guan, Y. 2014. Strategic flood management: Ten 'golden rules' to guide a sound approach. *International Journal of River Basin Management*, vol. 13, n° 2, pp. 137–151. [doi.org/10.1080/15715124.2014.902378](https://doi.org/10.1080/15715124.2014.902378)

R

S



- Schilling, K. E. et Libra, R. D. 2003. Increased baseflow in Iowa over the second half of the 20<sup>th</sup> century. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 39, n° 4, pp. 851–860. doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb04410.
- Scholes, R. J. et Biggs, R. 2004. *Ecosystem Services in Southern Africa: A Regional Assessment*. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR).
- Scholes, R. J., Scholes, M. et Lucas, M. 2015. *Climate Change: Briefings from Southern Africa*. Johannesburg, Afrique du Sud, Wits University Press.
- Scholz, M. 2006. *Wetland Systems to Control Urban Runoff*. Amsterdam, Elsevier Science.
- Schulte-Wülwer-Leidig, A. s.d. *From an Open Sewer to a Living Rhine River*. Coblenz, Allemagne, CIPR (Commission internationale pour la protection du Rhin).
- Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. 2014. *Perspectives mondiales de la diversité biologique 4 : Évaluation à mi-parcours des progrès accomplis dans la mise en œuvre du Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020*. Montreal, PQ, SCBD. <https://www.cbd.int/gbo4/>
- SEG (Scientific Expert Group on Climate Change). 2007. *Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*. Rapport préparé pour la Commission du développement durable (CDD). Research Triangle Park (NC)/Washington, Sigma XI/Fondation des Nations Unies. [www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf\\_website/PDF/climate%20\\_change\\_avoid\\_unmanageable\\_manage\\_unavoidable.pdf](http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf_website/PDF/climate%20_change_avoid_unmanageable_manage_unavoidable.pdf)
- Shah, T. 2009. *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*. Washington, DC/Colombo, Resources for the Future/ Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI).
- Simons, G., Buitink, J., Droogers, P. et Hunink, J. 2017. *Impacts of climate change on water and sediment flows in the Upper Tana Basin, Kenya*. Wageningen, Pays-Bas, Future Water. [www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2017/04/Tana\\_CC\\_FW161.pdf](http://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2017/04/Tana_CC_FW161.pdf)
- Singh, R. 2016. *Water Security and Climate Change: Challenges and Opportunities in Asia*. Discours inaugural à l'Institut asiatique de technologie, Bangkok, 29 novembre-1 décembre 2016.
- SIWI (Institut international d'hydrologie de Stockholm). 2015. *Rajendra Singh – The Water Man of India Wins 2015 Stockholm Water Prize*. Site Internet du SIWI. [www.siwi.org/prizes/stockholmwaterprize/laureates/2015-2/](http://www.siwi.org/prizes/stockholmwaterprize/laureates/2015-2/)
- Skov, H. 2015. Convention de Ramsar. Implications for Human Health. S. A. Elias (ed.), *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Amsterdam, Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09347-7<sup>23</sup>
- Smakhtin, V. U. et Schipper, E. L. 2008. Droughts: the impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, vol. 10, n° 2, pp. 131–143. doi.org/10.2166/wp.2008.036
- Smalls-Mantey, L. 2017. *The Potential Role of Green Infrastructure in the Mitigation of the Urban Heat Island*. Thèse de doctorat. Philadelphie, PA., États-Unis, Université Drexel. [idea.library.drexel.edu/islandora/object/idea%3A7596](http://idea.library.drexel.edu/islandora/object/idea%3A7596)
- Squires, V. R. et Glenn, E. P. 2011. Salination, desertification and soil erosion. V. R. Squires (ed.), *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*. Paris/Oxford, Royaume-Uni, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)/Encyclopédie des systèmes permettant la vie (EOLSS).
- Stagnari, F., Ramazzotti, S. et Pisante, M. 2009. Conservation Agriculture: A different approach for crop production through sustainable soil and water management: A review. E. Lichtfouse (ed.), *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*. Sustainable Agriculture Reviews, vol. 1. Dordrecht, Pays-Bas, Springer, pp. 55-83.
- Stanton, T., Echavarría, M., Hamilton, K. et Ott, C. 2010. *State of Watershed Payments: An Emerging Marketplace*. *Ecosystem Marketplace*. [www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_2438.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_2438.pdf)
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. et Ludwig, C. 2015. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review*, vol. 2, n° 1, pp. 81–98. doi.org/10.1177/2053019614564785
- Sun, G., Zhou, G. Y., Zhang, Z. Q., Wei, X. H., McNulty, S. G. et Vose, J. M. 2006. Potential water yield reduction due to forestation across China. *Journal of Hydrology*, vol. 328, n° 3–4, pp. 548–558. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.013
- Tacconi, L. 2015. *Regional Synthesis of Payments for Environmental Services (PES) in the Greater Mekong Region*. Working Paper No. 175. Bogor, Indonésie, Centre de recherche forestière internationale (CIFOR). doi.org/10.17528/cifor/005510
- Taylor, B. R. (ed.). 2005. *Encyclopedia of Religion and Nature*. Deux volumes. Londres, Theommes.
- TEEB (Économie des écosystèmes et de la biodiversité). 2009. *TEEB in National and International Policy Making*. Londres/ Washington, Routledge. [img.teebweb.org/wp-content/uploads/2017/03/TEEB-for-Policy-Makers\\_Website.pdf](http://img.teebweb.org/wp-content/uploads/2017/03/TEEB-for-Policy-Makers_Website.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2011. *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. [www.teebweb.org/publication/teeb-manual-for-cities-ecosystem-services-in-urban-management/](http://www.teebweb.org/publication/teeb-manual-for-cities-ecosystem-services-in-urban-management/)

<sup>23</sup> Malgré le titre de cet ouvrage publié, la Convention de Ramsar n'est pas une Convention des Nations Unies. La Convention de Ramsar est un traité international qui fournit le cadre de travail pour une action à l'échelle nationale et une coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

- Thakur, A. K., Kassam, A., Stoop, W. A. et Uphoff, N. 2016. Modifying rice crop management to ease water constraints with increased productivity, environmental benefits, and climate-resilience. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 235, pp. 101–104. doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.011
- Tidball, K. G. 2012. Urgent biophilia: Human-nature interactions and biological attractions in disaster resilience. *Ecology and Society*, vol. 17, n° 2, Art. 5. doi.org/10.5751/ES-04596-170205
- Tinoco, M., Cortobius, M., Doughty Grajales, M. et Kjellén, M. 2014. Water co-operation between cultures: Partnerships with indigenous peoples for sustainable water and sanitation services. *Aquatic Procedia*, vol. 2, pp. 255–62. doi.org/10.1016/j.aqpro.2014.07.009
- TNC (The Nature Conservancy). 2015. *Upper Tana-Nairobi Water Fund: A Business Case*. Version 2. Nairobi, TNC. www.nature.org/ourinitiatives/regions/africa/upper-tana-nairobi-water-fund-business-case.pdf
- To, P. X., Dressler, W. H., Mahanty, S., Pham, T. T. et Zingerli, C. 2012. The prospects for Payment for Ecosystem Services (PES) in Vietnam: A look at three payment schemes. *Human Ecology Interdisciplinary Journal*, vol. 40, n° 2, pp. 237–249. doi.org/10.1007/s10745-012-9480-9
- Tognetti, S. S., Aylward, B. et Mendoza, G. F. 2005. Markets for watershed services. M. G. Anderson (ed.), *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*. Chichester, Royaume-Uni, Wiley.
- Turton, A.R. et Botha, F. S. 2013. Anthropogenic aquifer: New thinking. S. Eslamien (ed.), *Handbook for Engineering Hydrology (Volume 3): Environmental Hydrology and Water Management*. Londres, CRC Press.
- UNESCO. 2015a. *Initiative internationale sur la qualité de l'eau : vise à promouvoir la recherche scientifique, la diffusion du savoir, ainsi que le développement de technologies et de politiques efficaces pour répondre aux défis de qualité de l'eau pour le développement durable*. Paris, UNESCO. http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243651f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2015b. *Les polluants émergents dans la réutilisation des eaux usées dans les pays en développement*. UNESCO-PHI Initiative internationale sur la qualité de l'eau (IIWQ) 2014-2018. Paris, UNESCO. http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235241f.pdf
- \_\_\_\_\_. 2016. *Ecology as an Integrative Science from Molecular to Basin Scale: Historical Evolution, Advancements and Implementation Activities*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002455/245512e.pdf
- \_\_\_\_\_. À paraître. *Emerging Pollutants in Water and Wastewater of East Ukraine: Occurrence, Fate and Regulation*. UNESCO Emerging Pollutants in Water Series. Paris, UNESCO.
- UNESCO/HELCOM (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture/Commission pour la protection du milieu marin de la mer Baltique). 2017. *Pharmaceuticals in the Aquatic Environment in the Baltic Sea Region: A Status Report*. UNESCO Emerging Pollutants in Water Series, vol. 1. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002478/247889E.pdf
- UNISDR (Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes). 2015. *Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030*. Genève, UNISDR. www.unisdr.org/we/inform/publications/43291
- Université de Łódź/City of Łódź Office. 2011. *Implementation of the Blue-Green Network Concept: Final Demonstration Activity Report WP – The City of Łódź 2006-2011 – Annex 4*. Łódź, Pologne, Université de Łódź/City of Łódź Office.
- Uphoff, N. 2008. The system of rice intensification (SRI) as a system of agricultural innovation. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, vol. 10, n° 1, pp. 27–40. journal.ipb.ac.id/index.php/jtanah/article/view/2397/1403
- Uphoff, N. and Dazzo, F. B. 2016. Making rice production more environmentally-friendly. *Environments*, vol. 3, n° 2, Art. 12. doi.org/10.3390/environments3020012
- Uphoff, N., Kassam, A. and Harwood, R. 2011. SRI as a methodology for raising crop and water productivity: Productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. *Paddy and Water Environment*, vol. 9, n° 1, pp. 3–11. doi.org/10.1007/s10333-010-0224-4
- USDA (Département de l'agriculture des États-Unis) Agence des services pour l'agriculture. 2008. *Conservation Reserve Program (CRP) Benefits: Water Quality, Soil Productivity and Wildlife Estimates*. Fact Sheet. Washington, USDA. www.fsa.usda.gov/Internet/FSA\_File/crpbennies.pdf
- \_\_\_\_\_. 2016. *The Conservation Reserve Program: 49<sup>th</sup> Signup Results*. Washington, USDA. www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdfiles/Conservation/PDF/SU49Book\_State\_final1.pdf
- US EPA (Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement). 2015. *General Accountability Considerations for Green Infrastructure*. Green Infrastructure Permitting and Enforcement Series: Fact Sheet No. 1. US EPA. www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/epa-green-infrastructure-factsheet-1-061212-pj-2.pdf
- \_\_\_\_\_. s.d. *Summary of the Clean Water Act*. Site Internet de l'EPA. www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act.
- Van der Ent, R. J., Savenije, H. H. G., Schaeffli, B. et Steele-Dunne, S. C. 2010. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, vol. 49, n° 9, W09525. doi.org/10.1029/2010WR009127
- Van der Ent, R. J., Wang-Erlandsson, L., Keys, P. W. et Savenije, H. H. G. 2014. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 2: Moisture recycling. *Earth System Dynamics*, vol. 5, pp. 471–489. doi.org/10.5194/esd-5-471-2014

- Van der Putten, W. H., Anderson, J. M., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Bignell, D. E., Brown, G. G., Brown, V. K., Brussaard, L., Hunt, H. W., Ineson, P., Jones, T. H., Lavelle, P., Paul, E. A., St. John, M., Wardle, D. A., Wojtowicz, T. et Wall, D.H. 2004. The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. D.H. Wall (ed.), *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments*. San Francisco, Calif., Island Press, pp. 15–43.
- Veldkamp, T. I. E., Wada, Y., Aerts, J. C. J. H., Döll, P., Gosling, S. N., Liu, J., Masaki, Y., Oki, T., Ostberg, S., Pokhrel, Y., Satoh, Y. et Ward, P. J. 2017. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> century. *Nature Communications*, n° 15697. doi.org/10.1038/ncomms15697
- Veolia/IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). 2015. *The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality*. Washington DC/Chicago, Ill., États-Unis, IFPRI/Veolia. www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water
- Ville de New York. 2008. *PlanNYC: Sustainable Stormwater Management Plan 2008. A Greener, Greater New York*. New York, Bureau du Maire chargé de la planification à long terme et de la durabilité. www.nyc.gov/html/planyc/downloads/pdf/publications/nyc\_sustainable\_stormwater\_management\_plan\_final.pdf
- Viste, E. et Sorteberg, A. 2013. The effect of moisture transport variability on Ethiopian summer precipitation. *International Journal of Climatology*, vol. 33, n° 15, pp. 3106–3123. doi.org/10.1002/joc.3566
- Voulvoulis, N., Arpon, K. D. et Giakoumis, T. 2017. The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Science of the Total Environment*, vol. 575, pp. 358–366. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228
- Vymazal, J. 2013. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*, vol. 61 (Partie B), pp. 582–592. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.023
- \_\_\_\_\_. 2014. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering*, vol. 73, pp. 724–751. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034
- Vymazal, J., Březinová, T. D., Koželuh, M. et Kule, L. 2017. Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring. *Ecological Engineering*, vol. 98, pp. 354–364. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.010
- Vystavna, Y., Frkova, Z., Marchand, L., Vergeles, Y. et Stolberg, F. 2017. Removal efficiency of pharmaceuticals in a full scale constructed wetland in East Ukraine. *Ecological Engineering*, vol. 108 (Partie A), pp. 50–58. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.009
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van Vliet, M. T. H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P. et Wiberg, D. 2016. Modelling global water use for the 21<sup>st</sup> century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, vol. 9, pp. 175–222. doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016
- Wagenaar, D. J., De Bruijn, K. M., Bouwer, L. M. et De Moel, H. 2016. Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. *Natural Hazards Earth System Science*, vol. 16, pp. 1–14. doi.org/10.5194/nhess-16-1-2016
- Walton, B. 2016. *Investors will see a Tighter Connection between Water and Climate*. Circle of Blue. www.circleofblue.org/2016/world/2016-preview-investors-will-see-tighter-connection-between-water-and-climate/
- Wang, Y., Li, L., Wang, X., Yu, X. et Wang, Y. 2007. *Taking Stock of Integrated River Basin Management in China*. Beijing, Science Press.
- Ward, F. A. et Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol., 105, n° 47, pp. 18215–18220. doi.org/10.1073/pnas.0805554105
- WBCSD (Conseil mondial des entreprises pour le développement durable). s.d. 2015a. *The Business Case for Natural Infrastructure*. Genève/New York/New Delhi, WBCSD www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2016/02/WBCSD\_BusinessCase\_jan2016.pdf
- \_\_\_\_\_. 2015b. *Iztia-Popo – Replenishing Groundwater through Reforestation in Mexico*. WBCSD Natural Infrastructure Case Study. Geneva/New York/New Delhi, WBCSD. www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2015/11/Volkswagen\_NI4BizCaseStudy\_ltza-Popo.pdf
- \_\_\_\_\_. 2015c. *Water Management and Flood Prevention in France*. WBCSD Natural Infrastructure Case Study. Genève/New York, WBCSD. www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2015/11/LafargeHolcim\_NI4BizCaseStudy\_WaterManagementFloodPrevention.pdf
- WEF (Forum économique mondial). 2015. *Global Risks Report 2015*. 10<sup>ème</sup> édition. Genève, Forum économique mondial. reports.weforum.org/global-risks-2015/
- Weiss, H. et Bradley, R. S. 2001. What drives societal collapse? *Science*, vol. 291, n° 3304, pp. 606-610. doi.org/10.1126/science.1058775
- Weiss, H., Courty, M. A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R. et Curnow, A. 1993. The genesis and collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization. *Science*, vol. 261, n° 5124, pp. 995–1004. doi.org/10.1126/science.261.5124.995
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D. et Hayes, M. J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, vol. 21, n° 5, pp. 763–774. doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5

- Wisner, B., Gaillard, J. C. and Kelman, I. (eds.). 2012. *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction and Management*. Londres, Routledge.
- WOCAT (World Overview of Conservation Approach and Technologies). 2007. *Where the Land is Greener: Case Studies and Analysis of Soil and Water Conservation Initiatives Worldwide*. CTA/FAO/PNUE/CDE au nom du WOCAT.
- Woods Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. et Shaffer, P. 2007. *The SUDS Manual*. Londres, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau). 2014. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2014 : Eau et énergie*. Paris, UNESCO. [unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2015 : L'eau dans un monde durable*. Paris, UNESCO. [unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/225741E.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/225741E.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'eau et l'emploi*. Paris, UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244163f.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 : Les Eaux Usées: une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247551f.pdf>
- WWF (Fonds mondial pour la nature). 2017. *Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide*. Washington, WWF. [www.worldwildlife.org/publications/natural-and-nature-based-flood-management-a-green-guide](http://www.worldwildlife.org/publications/natural-and-nature-based-flood-management-a-green-guide).
- X  
Xu, H. et Horn, O. 2017. *China's Sponge City concept: Restoring the Urban Water Cycle through Nature-Based Solutions*. ICLEI Briefing Sheet. Bonn, Allemagne, ICLEI. [www.iclei.org/fileadmin/PUBLICATIONS/Briefing\\_Sheets/Nature\\_Based\\_Solutions/ICLEI\\_Sponge\\_City\\_ENG.pdf](http://www.iclei.org/fileadmin/PUBLICATIONS/Briefing_Sheets/Nature_Based_Solutions/ICLEI_Sponge_City_ENG.pdf)
- Y  
You, L., Ringle, C., Nelson, G. C., Wood-Sichra, U., Robertson, R. D., Wood, S., Guo, Z., Zhu, T. et Sun, Y. 2010. *What is the Irrigation Potential for Africa? A Combined Biophysical and Socioeconomic Approach*. Document de travail de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires. Washington, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires. [www.ifpri.org/publication/what-irrigation-potential-africa](http://www.ifpri.org/publication/what-irrigation-potential-africa)
- Z  
Zalewski, M. (ed.). 2002. *Guidelines for the Integrated Management of the Watershed: Phytotechnology and Ecohydrology*. Freshwater Management Series No. 5. PNUE. [www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS5/](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS5/)
- \_\_\_\_\_. 2014. Ecohydrology and hydrologic engineering: Regulation of hydrology-biota interactions for sustainability. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 20, n° 1. doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999
- Zalewski, M., Janauer, G. et Jolánkai, G. (eds.). 1997. *Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources*. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, Programme hydrologique international (UNESCO-PHI). [unesdoc.unesco.org/images/0010/001062/106296e.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0010/001062/106296e.pdf)
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Ng, W. J. et Tan, S. K. 2014. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries: A review of recent developments (2000–2013). *Journal of Environmental Management*, vol. 141, pp. 116–131. doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.015
- Zhang, D. Q., Tan, S. K., Gersberg, R. M., Sadreddini, S., Zhu, J. et Tuan, N. A. 2011. Removal of pharmaceutical compounds in tropical constructed wetlands. *Ecological Engineering*, vol. 37, n° 3, pp. 460–464. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.002
- Zhang, L., Dawes, W. R. et Walker, G. R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, vol. 37, No. 3, pp. 701–708. doi.org/10.1029/2000WR900325
- Zhang, L., Podlasly, C., Feger, K. H., Wang, Y. et Schwärzel, K. 2015. Different land management measures and climate change impacts on the discharge: A simple empirical method derived in a mesoscale catchment on the Loess Plateau. *Journal of Arid Environment*, vol. 120, pp. 42–50. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.005
- Zhang, Y. K. et Schilling, K. E. 2006. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940s: Effect of land use change. *Journal of Hydrology*, vol. 324, n° 1–4, pp. 412–422. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.033
- Zhao, L., Wu, L., Li, Y., Lu, X., Zhu, D. et Uphoff, N. 2009. Influence of the system of rice intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different N application rate. *Experimental Agriculture*, vol. 45, n° 3, pp. 275–286. doi.org/10.1017/S0014479709007583

# ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ACL</b>      | Amérique latine et Caraïbes  |
| <b>ACWFS-VU</b> | Amsterdam Centre for World Food Studies, Université libre d'Amsterdam  |
| <b>AGWA</b>     | Alliance for Global Water Adaptation   |
| <b>AISH</b>     | Association internationale des sciences hydrologiques  |
| <b>CCNUCC</b>   | Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques   |
| <b>CDB</b>      | Convention sur la diversité biologique   |
| <b>CEE</b>      | Commission économique pour l'Europe  |
| <b>CEPALC</b>   | Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes   |
| <b>CESAO</b>    | Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale   |
| <b>CESAP</b>    | Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique   |
| <b>CIPR</b>     | Commission internationale pour la protection du Rhin   |
| <b>CNULCD</b>   | Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification  |
| <b>CRED</b>     | Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes   |
| <b>CRP</b>      | Conservation Reserve Program (États-Unis)  |
| <b>CWA</b>      | Clean Water Act (États-Unis)   |
| <b>DCE</b>      | Directive-cadre dans le domaine de l'eau de l'Union européenne   |
| <b>DEP</b>      | Department of Environmental Protection – Département de protection de l'environnement (New York)   |
| <b>EPMAPS</b>   | Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – Entreprise Publique Métropolitaine d'Eau Potable et d'Assainissement (Quito) |
| <b>FAO</b>      | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture  |
| <b>FONAG</b>    | Fondo para la Protección del Agua – Fonds pour la protection de l'eau (Équateur)   |
| <b>GIRE</b>     | Gestion intégrée des ressources en eau   |
| <b>IHE</b>      | Institut pour l'éducation relative à l'eau de Delft  |
| <b>IIAAS</b>    | Institut international d'analyse appliquée des systèmes  |
| <b>ISRBC</b>    | International Sava River Basin Commission  |
| <b>IWMI</b>     | Institut international de gestion des ressources en eau  |
| <b>MAR</b>      | Recharge contrôlée des aquifères   |
| <b>OCDE</b>     | Organisation de coopération et de développement économiques  |
| <b>ODD</b>      | Objectifs de développement durable   |
| <b>OIT</b>      | Organisation internationale du Travail   |
| <b>OMM</b>      | Organisation météorologique mondiale   |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ONG</b>    | Organisation non gouvernementale  |
| <b>ONU</b>    | Organisation des Nations Unies  |
| <b>ONUDI</b>  | Organisation des Nations Unies pour le développement industriel           |
| <b>PHI</b>    | Programme hydrologique international de l'UNESCO                          |
| <b>PIB</b>    | Produit intérieur brut  |
| <b>PNUE</b>   | Programme des Nations Unies pour l'environnement                          |
| <b>PSE</b>    | Païement des services ecosystemiques                                      |
| <b>RRC</b>    | Réduction des risques de catastrophe                                      |
| <b>S2S</b>    | Source to Sea   |
| <b>SASS</b>   | Stream Assessment Scoring System  |
| <b>SfN</b>    | Solutions fondées sur la nature   |
| <b>SIR</b>    | Système d'intensification du riz  |
| <b>SIWI</b>   | Institut international d'hydrologie de Stockholm                          |
| <b>SPR</b>    | Source to Pathway to Receptor   |
| <b>SUDS</b>   | Systèmes de drainage urbain durables                                      |
| <b>TNC</b>    | The Nature Conservancy  |
| <b>UE</b>     | Union européenne  |
| <b>UICN</b>   | Union internationale pour la conservation de la nature                    |
| <b>UNESCO</b> | Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture |
| <b>UNU</b>    | Université des Nations Unies  |
| <b>USAID</b>  | Agence pour le développement international des États-Unis                 |
| <b>US EPA</b> | Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis               |
| <b>UTCAT</b>  | Utilisation des terres et changement d'affectation des terres             |
| <b>UTFI</b>   | Underground taming of floods for irrigation                               |
| <b>VIH</b>    | Virus de l'immunodéficience humaine                                       |
| <b>WaSH</b>   | Eau, Assainissement et Hygiène pour tous                                  |
| <b>WBCSD</b>  | Conseil mondial des entreprises pour le développement durable             |
| <b>WWAP</b>   | Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau                 |
| <b>WWDR</b>   | Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau               |
| <b>WWF</b>    | Fonds mondial pour la nature  |

# ENCADRÉS, FIGURES ET TABLEAUX

## Encadré

|                     |  |     |
|---------------------|--|-----|
| <b>Encadré 1.1</b>  | Écohydrologie  | 27  |
| <b>Encadré 2.1</b>  | Stockage de l'eau fondé sur la nature dans les rivières asséchées en Afrique   | 45  |
| <b>Encadré 2.2</b>  | Avantages à l'échelle – Restauration du paysage en vue d'améliorer la sécurité hydrique dans le Rajasthan, Inde  | 46  |
| <b>Encadré 2.3</b>  | Agriculture de conservation : une approche de l'intensification de la production durable   | 48  |
| <b>Encadré 2.4</b>  | Le système d'intensification du riz (meilleure productivité avec moins d'eau)  | 49  |
| <b>Encadré 2.5</b>  | La restauration des paysages contribue à l'amélioration des résultats liés à l'eau pour le fleuve Tana au Kenya  | 51  |
| <b>Encadré 2.6</b>  | Concept « ville-éponge » de la Chine   | 52  |
| <b>Encadré 2.7</b>  | Les services des bassins hydrographiques multiplient par cinq la durée d'exploitation prévue du barrage hydroélectrique d'Itaipu dans le bassin de Paraná au Brésil                                  | 53  |
| <b>Encadré 2.8</b>  | L'approche S2S   | 56  |
| <b>Encadré 3.1</b>  | Le Programme de mise en réserve des terres fragiles des États-Unis visant à protéger la qualité de l'eau   | 61  |
| <b>Encadré 3.2</b>  | Amélioration de la qualité de l'eau à l'aide de bandes tampons sur les terres agricoles européennes  | 64  |
| <b>Encadré 3.3</b>  | Enlèvement de produits pharmaceutiques dans une zone humide aménagée en Ukraine  | 66  |
| <b>Encadré 3.4</b>  | Améliorer l'approvisionnement en eau souterraine et la qualité de l'eau à l'aide des sols pour le traitement tertiaire des eaux usées en Israël  | 67  |
| <b>Encadré 3.5</b>  | Utilisation de <i>daphnies</i> et d' <i>algues</i> pour contrôler la toxicité de l'eau et la détection précoce des poussées de pollution – Station de qualité de l'eau du Rhin à Worms, en Allemagne | 67  |
| <b>Encadré 3.6</b>  | Les fonds pour l'eau en tant que moyen de mise en œuvre des Sfn pour la protection de la source du bassin hydrographique   | 69  |
| <b>Encadré 4.1</b>  | Gestion de l'eau et prévention des inondations en France – LafargeHolcim   | 86  |
| <b>Encadré 4.2</b>  | Évaluation du concept d'UTFI dans le bassin fluvial de Phraya en Thaïlande   | 89  |
| <b>Encadré 5.1</b>  | Restauration des systèmes Hima en Jordanie   | 94  |
| <b>Encadré 5.2</b>  | Expérience avec les PSE dans la région Asie-Pacifique  | 97  |
| <b>Encadré 5.3</b>  | Système des PSE au lac Naivasha, Kenya   | 97  |
| <b>Encadré 5.4</b>  | Le Fonds pour l'eau d'Upper Tana-Nairobi   | 99  |
| <b>Encadré 5.5</b>  | Le Fonds de protection des bassins versants de Quito   | 101 |
| <b>Encadré 5.6</b>  | Les Sfn dans les agglomérations urbaines : ville de New York   | 102 |
| <b>Encadré 5.7</b>  | Aller au-delà du traitement des eaux usées – zones humides aménagées à plusieurs fonctions   | 103 |
| <b>Encadré 5.8</b>  | Zones humides aménagées en Égypte et au Liban  | 104 |
| <b>Encadré 5.9</b>  | Les Sfn et la DCE de l'UE : Expériences tirées des projets pilotes dans la région de la mer du Nord  | 104 |
| <b>Encadré 5.10</b> | Les Sfn en matière de gestion de l'eau et les services de l'eau dans le contexte de la mise en œuvre de la DCE de l'UE : le bassin du Rhin   | 105 |
| <b>Encadré 5.11</b> | La valeur des actifs naturels et l'importance de la coopération transfrontalière dans le bassin du fleuve Sava   | 106 |
| <b>Encadré 5.12</b> | Mécanismes de compensation de la loi sur les services écosystémiques (Pérou)   | 107 |
| <b>Encadré 5.13</b> | Évaluations globales et quantitatives, qui montrent que les options d'investissement dans les infrastructures comparables, peuvent favoriser les Sfn   | 108 |
| <b>Encadré 6.1</b>  | Financement de la résilience des ressources en eau : l'émergence des obligations vertes et climatiques pour l'eau  | 114 |
| <b>Encadré 6.2</b>  | L'Initiative Équateur : développer les Sfn en impliquant les communautés autochtones   | 121 |

## Figures

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Figure 1</b>   | Pénurie physique d'eau en 2010 et variations prévisionnelles de la pénurie d'eau en 2050 sur la base du scénario <i>middle-of-the-road</i> (intermédiaire)  | 14  |
| <b>Figure 2</b>   | Contribution à l'épuisement des eaux souterraines, par culture, dans le monde en 2010   | 15  |
| <b>Figure 3</b>   | Prélèvements d'eau souterraine en 2010 et augmentation des prélèvements d'eau souterraine d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2010 selon le scénario <i>middle-of-the-road</i> (intermédiaire)          | 16  |
| <b>Figure 4</b>   | Indices de risque de la qualité de l'eau des principaux bassins hydrographiques pour la période de référence (2000-2005) par rapport à 2050 (indice de l'azote publié par CSIRO-scénario moyen)           | 17  |
| <b>Figure 5</b>   | Part en pourcentage de l'agriculture dans les émissions totales de nitrates et de phosphore dans les pays de l'OCDE, 2000-2009  | 18  |
| <b>Figure 6</b>   | Prévision des changements dans la teneur moyenne en eau du sol dans la couche supérieure de 10 cm, en pourcentage, de 1980-1999 à 2080-2099   | 20  |
| <b>Figure 1.1</b> | Chemins hydrologiques généralisés dans un paysage naturel et en milieu urbain   | 29  |
| <b>Figure 1.2</b> | Recyclage des précipitations continentales 2000-2009  | 31  |
| <b>Figure 1.3</b> | Sources de précipitations pour la région du Sahel   | 32  |
| <b>Figure 1.4</b> | Solutions d'infrastructures naturelles ou vertes pour la gestion de l'eau dans un paysage   | 37  |
| <b>Figure 1.5</b> | Évolution des approches touchant au lien eau-écosystème. L'accent a été déplacé de l'examen des impacts sur les écosystèmes à la gestion des écosystèmes pour atteindre les objectifs de gestion de l'eau | 38  |
| <b>Figure 1.6</b> | Tendances dans le nombre d'articles de recherche évoquant les SfN et les approches connexes entre 1980 et 2014  | 39  |
| <b>Figure 2.1</b> | Relation entre les infrastructures bâties et les services écosystémiques  | 44  |
| <b>Figure 4.1</b> | Impact annuel moyen des sécheresses et des inondations dans le monde sur la base des données pour la période 2006-2015  | 74  |
| <b>Figure 4.2</b> | Évolution des flux d'avantages avec la modification de l'écosystème   | 77  |
| <b>Figure 4.3</b> | Une illustration du concept SPR de l'OMM  | 78  |
| <b>Figure 4.4</b> | Mesures régionales les plus efficaces en matière des SfN pour réduire les pics de crue sur une période de retour de 20 ans  | 79  |
| <b>Figure 4.5</b> | Effet de différentes interventions SfN sur la réduction des pics de crue et l'effet combiné des interventions à l'échelle du bassin avec la magnitude des inondations                                     | 81  |
| <b>Figure 4.6</b> | La carte mondiale des dangers et risques de sécheresse  | 82  |
| <b>Figure 4.7</b> | Continuum du stockage de l'eau  | 85  |
| <b>Figure 4.8</b> | Résumé schématique du concept d'UTFI  | 87  |
| <b>Figure 5.1</b> | Un projet type des PSE de bassin hydrographique   | 96  |
| <b>Figure 5.2</b> | Subventions publiques destinées à la protection des bassins hydrographiques en 2015 : Les pays ayant des programmes de subventions publiques et la part de chaque contributeur par région                 | 100 |

## Tableau

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Tableau 1</b>   | Condition et tendance mondiales des menaces pour les sols, à l'exception de l'Antarctique  | 23  |
| <b>Tableau 1.1</b> | Exemples de services écosystémiques et de certaines de leurs fonctions   | 34  |
| <b>Tableau 1.2</b> | Solutions d'infrastructures vertes pour la gestion des ressources en eau   | 36  |
| <b>Tableau 3.1</b> | Catégories d'activités communes de protection des eaux de source   | 62  |
| <b>Tableau 3.2</b> | Qualité de l'eau dans les ODD  | 70  |
| <b>Tableau 4.1</b> | Mesures fondées sur le bassin hydrographique qui contribuent à la gestion des inondations  | 80  |
| <b>Tableau 4.2</b> | Les SfN pour la gestion des risques de sécheresse dans la Corne de l'Afrique   | 83  |
| <b>Tableau 7.1</b> | Contribution potentielle des SfN à la réalisation des Cibles de l'ODD 6 sur l'eau et l'assainissement, et leur contribution potentielle à la réalisation d'autres Cibles | 131 |
| <b>Tableau 7.2</b> | La contribution potentielle des SfN (pour l'eau) à certains autres ODD et leurs Cibles grâce à la fourniture d'avantages partagés non liés à l'eau                       | 132 |



# CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

## Résumé

p. 1 © Sundry Photography/Shutterstock.com

## Prologue

p. 11 © Komjomo/Shutterstock.com

## Chapitre 1

p. 25 © Phanuwat Nandee/Shutterstock.com

## Chapitre 2

p. 43 © Uwe Bergwitz/Shutterstock.com

## Chapitre 3

p. 59 © Leoni Meleca/Shutterstock.com

## Chapitre 4

p. 73 © DIIMSA Researcher/Shutterstock.com

## Chapitre 5

p. 93 © Trabantos/Shutterstock.com

p. 19 © Naeblys/Shutterstock.com

## Chapitre 6

p. 111 © Georgina Smith/CIAT, www.flickr.com CC BY-NC-SA 2.0

## Chapitre 7

p. 123 © Olga Kashubin/Shutterstock.com

p. 129 © Anna Om/Shutterstock.com



ISBN 978-92-3-200115-3

© UNESCO 2017

204 pages

Prix: EUR 45.00

**WWDR 2017** En couleur, avec Lexique, photographies, tableaux, figures, cartes, encadrés, notes, listes des références et des abréviations ainsi que l'Avant-propos de la Directrice générale de l'UNESCO Irina Bokova et du président d'ONU-Eau et Directeur général de l'OIT Guy Ryder

ISBN 978-92-3-200147-4

© UNESCO 2018

174 pages

Prix: EUR 45.00

**WWDR 2018** En couleur, avec encadrés, figures, cartes, tableaux, notes, photographies, listes des références et des abréviations ainsi que l'Avant-propos de la Directrice générale de l'UNESCO Audrey Azoulay et du Président d'ONU-Eau et Président de l'IFAD Gilbert F. Houngbo

**Pour acheter une version imprimée de ce livre, rendez-vous à l'adresse suivante :** [publishing.unesco.org](http://publishing.unesco.org)

**Pour demander un CD-ROM ou une clé USB contenant le rapport et les publications associées, envoyez un e-mail à :** [wwap@unesco.org](mailto:wwap@unesco.org)

**Pour télécharger les formats PDF et e-book (format .epub) du rapport et des publications associées, d'anciennes éditions du WWDR et du matériel multimédia, rendez-vous à l'adresse suivante :** [www.unesco.org/water/wwap](http://www.unesco.org/water/wwap)

**Contenu de la clé USB :** Le WWDR 2018 en anglais, en français et en espagnol, le Résumé en neuf langues, les Faits et Chiffres en cinq langues, et les éditions précédentes du WWDR

## PUBLICATIONS ASSOCIÉES



Résumé  
du WWDR 2017

12 pages

Disponible en allemand, anglais, arabe, chinois, espagnol, français, hindi, italien, portugais et russe



Faits et Chiffres  
du WWDR 2017

12 pages

Disponible en anglais, espagnol, français, italien et portugais



Résumé  
du WWDR 2018

12 pages

Disponible en allemand, anglais, arabe, chinois, espagnol, français, hindi, italien, portugais et russe



Faits et Chiffres  
du WWDR 2018

12 pages

Disponible en anglais, espagnol français, italien et portugais

**Pour télécharger ces documents, rendez-vous à l'adresse suivante :** [www.unesco.org/water/wwap](http://www.unesco.org/water/wwap)

Mécanisme de coordination interinstitutions des Nations Unies pour les questions liées à l'eau douce, y compris l'assainissement, ONU-Eau a été officiellement créé en 2003 dans le prolongement d'une longue collaboration au sein du système des Nations Unies. Il se compose d'entités des Nations Unies se consacrant aux questions liées à l'eau ou s'y intéressant (les Membres) et d'autres organismes ne relevant pas du système des Nations Unies (les Partenaires).

ONU-Eau a pour vocation de compléter et de valoriser les programmes et projets existants en facilitant les synergies et les actions conjointes de manière à optimiser la coordination et la cohérence du système des Nations Unies. Il s'attache ainsi à améliorer l'efficacité du soutien apporté aux États Membres dans leurs efforts pour conclure des accords internationaux sur l'eau.

## RAPPORTS PÉRIODIQUES

### Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau dans le monde (WWDR)

Fruit de la collaboration étroite entre les Membres et les Partenaires d'ONU-Eau, ce rapport est la publication de référence du système des Nations Unies concernant la situation des ressources en eau douce. Il représente sa réponse cohérente et homogène aux problématiques et aux nouveaux défis dans ce domaine. La production du rapport est coordonnée par le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO et son thème correspond à celui de la Journée mondiale de l'eau (22 mars). Publié tous les trois ans de 2003 à 2012, le rapport fait depuis 2014 l'objet d'une publication annuelle afin de diffuser les informations les plus récentes sur la manière dont les défis liés à l'eau sont relevés à travers le monde.

### Analyse et évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable d'ONU-Eau (GLAAS)

Établi par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) à l'initiative d'ONU-Eau, ce rapport fait le point sur les cadres stratégiques, les arrangements institutionnels, les ressources humaines et les sources de financement nationales et internationales à l'appui de l'assainissement et de l'eau potable à travers le monde. Il contribue sensiblement aux activités du partenariat Assainissement et eau pour tous (SWA).

### Rapport de situation du Programme commun OMS/UNICEF de suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (JMP)

Rattaché à ONU-Eau, il présente les résultats du suivi mondial des progrès accomplis dans la réalisation de l'accès à l'eau potable et à des services d'assainissement et d'hygiène. Ce suivi s'appuie sur les résultats d'enquêtes auprès des ménages et de recensements généralement fournis par les bureaux nationaux de statistique selon des critères internationaux. Il repose dans une mesure croissante sur les ensembles nationaux de données administratives et réglementaires.

- ✓ Perspective stratégique
- ✓ Situation, usages et gestion des ressources en eau
- ✓ Niveau mondial
- ✓ Évaluations régionales
- ✓ Publication triennale de 2003 à 2012
- ✓ Publication annuelle depuis 2014
- ✓ En lien avec le thème de la Journée mondiale de l'eau (22 mars)

- ✓ Perspective stratégique
- ✓ Approvisionnement en eau et assainissement
- ✓ Niveau mondial
- ✓ Évaluations régionales
- ✓ Publication biennale depuis 2008

- ✓ Status and trends
- ✓ Approvisionnement en eau et assainissement
- ✓ Niveau mondial
- ✓ Évaluations régionales et nationales
- ✓ Publication biennale depuis 2008
- ✓ Mises à jour annuelles depuis 2013

## PUBLICATIONS D'ONU-EAU PRÉVUES EN 2018

- **Rapport de synthèse 2018 sur l'ODD 6 relatif à l'eau et l'assainissement**  
Ce rapport, préparé par un groupe de travail de 13 membres et partenaires d'ONU-Eau, sera publié en juin 2018, en amont du Forum politique de haut niveau pour le développement durable qui sera l'occasion pour les États Membres d'examiner en détail l'Objectif de Développement 6 – Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau (ODD6). Il dressera l'état d'avancement de l'ensemble des Cibles et des indicateurs qu'englobe l'ODD en question sur la base des informations issues des mécanismes de suivi propres à cet ODD, présentera une analyse aussi bien des interconnexions de l'ODD 6 que de l'intégration de ce dernier dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030, et portera des messages pertinents du point de vue des politiques afin d'accélérer la mise en œuvre dudit Programme.
- **Mise à jour du document d'orientation d'ONU-Eau sur l'eau et le changement climatique**
- **Document d'orientation d'ONU-Eau sur les conventions relatives à l'eau**
- **Dossier d'analyse d'ONU-Eau sur l'économie d'eau**

Le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) est hébergé et dirigé par l'UNESCO. Le WWAP rassemble le travail de nombreux membres et partenaires d'ONU-Eau pour produire la série du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau.

Les Rapports annuels sur la mise en valeur des ressources en eau dans le monde mettent l'accent sur les questions stratégiques relatives à l'eau. Les membres et partenaires d'ONU-Eau ainsi que d'autres experts apportent les connaissances les plus récentes sur un thème spécifique.

L'édition 2018 du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau a pour but d'informer les décideurs politiques et les décideurs, au sein et en dehors du secteur de l'eau, sur le potentiel des solutions fondées sur la nature (SfN) pour relever les enjeux contemporains en matière de gestion de l'eau dans tous les secteurs, en particulier en ce qui concerne l'eau pour l'agriculture, les villes durables, la réduction des risques de catastrophe et l'amélioration de la qualité de l'eau.

La gestion de l'eau reste fortement dominée par les infrastructures traditionnelles construites par l'homme (qualifiées de « grises ») et le potentiel immense des SfN reste sous-exploité. Les SfN comprennent l'infrastructure verte, laquelle peut remplacer, augmenter ou travailler en parallèle avec l'infrastructure grise de manière rentable. L'objectif est de trouver le dosage optimal d'investissements verts et gris afin de maximiser les avantages et l'efficacité du système tout en minimisant les coûts et les compromis.

Les SfN pour l'eau sont essentielles à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030 car elles génèrent également des avantages sociaux, économiques et environnementaux partagés, y compris la santé humaine et les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et énergétique, une croissance économique durable, des emplois décents, la restauration et l'entretien des écosystèmes, ainsi que la biodiversité. Bien que les SfN ne soient pas une panacée, elles joueront un rôle essentiel dans l'économie circulaire et dans la construction d'un avenir plus équitable pour tous.

Nous sommes reconnaissants du soutien financier du  
Gouvernement italien et de la Regione Umbria



Regione Umbria



9 789232 001474