CHAPITRE 8

RESSOURCES EN EAU

L'augmentation de la demande en eau crée des pénuries, épuise les sources d'eau souterraine et entraîne une forte augmentation de la teneur en sel dans les sols. Parallèlement, les zones humides disparaissent rapidement en raison du drainage, de la conversion et de la perturbation des flux naturels. Ces tendances ont de sérieux effets sur la santé et l'environnement : réduction des services écosystémiques et de la biodiversité, ce qui entraîne des émissions de carbone élevées, affaissement du sol, perte de terres productives et insécurité hydrique. Le modèle économique actuel pour l'agriculture, l'énergie et l'industrie, y compris la tarification et le commerce de l'eau, crée des incitations perverses favorisant le gaspillage d'eau. L'urbanisation rapide et non planifiée et le changement climatique aggravent les choses.

Une approche intégrée de la gestion des terres et des ressources en eau est essentielle : cela implique de réduire la demande et d'accroître l'efficacité de l'utilisation, la protection et la restauration des zones humides et des bassins hydrographiques dans nos paysages fonctionnels, des incitations à un usage durable et à la conception de villes plus durables. Nous possédons le savoir technique-pour gérer durablement l'approvisionnement en eau à l'échelle mondiale, mais nous avons besoin d'une action coordonnée et de la volonté politique pour encourager le partage équitable de l'eau et améliorer les pratiques de gestion à des échelles progressivement plus importantes.

INTRODUCTION

Tout au long de l'histoire, le succès et l'échec des communautés humaines ont été étroitement liés à l'efficacité de la gestion de l'eau. Les premières grandes civilisations se sont développées sur les rives des grands fleuves comme le Nil en Égypte,[1] le Tigre et l'Euphrate en Mésopotamie, l'Indus en Inde et au Pakistan, et le Hwang Ho en Chine, s'appuyant sur l'abondance saisonnière pour approvisionner des systèmes d'irrigation et créer des excédents agricoles. Les systèmes d'irrigation ont également aidé les agriculteurs à se déplacer dans des zones arides ou à survivre aux aléas climatiques.[2] La chute finale de ces civilisations a été déclenchée en partie par l'échec de leurs systèmes hydriques,[3] plombés par une mauvaise gestion menant à des problèmes d'assèchement, d'engorgement et de salinisation.[4]

Aujourd'hui, le monde est confronté à des problèmes croissants liés aux interactions entre la terre et l'eau et à la sécurité hydrique, qui ont atteint des niveaux de crise dans de nombreux pays et régions. Les problèmes clés comprennent la surexploitation et le gaspillage ; les variations dans la disponibilité des ressources, avec la fréquence en hausse des sécheresses et des inondations ; la mauvaise qualité de l'eau avec des impacts sur l'environnement et la santé humaine ; et les retombées de la dégradation des terres. Le monde devient de plus en plus urbain, la moitié de la population vivant déjà dans les villes et susceptible d'atteindre 66 % d'ici 2050,[5] mettant les systèmes urbains d'approvisionnement en eau et d'assainissement sous une pression encore plus grande. Alors que les pénuries d'eau et les inondations extrêmes sont dans bien des cas induites par l'homme, les impacts du changement climatique ajoutent un nouveau facteur puissant qui aggrave une situation déjà précaire.

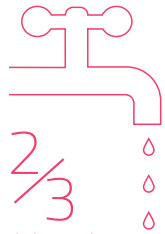
Les biens et services hydriques provenant des zones humides contribuent de manière significative à l'économie mondiale. Une analyse récente de plus de 300 évaluations des services écosystémiques a estimé que les eaux intérieures apportaient une contribution moyenne de 25 682 dollars par hectare et par an, contre 4 267 dollars par hectare et par an pour les lacs et les rivières,[6] souvent considérés comme des « biens gratuits » dans l'analyse économique conventionnelle. Les terres humides intérieures et côtières continuent d'être dégradées ou perdues à un rythme alarmant ;[7] elles sont pourtant essentielles au cycle mondial de l'eau et à la régulation de la disponibilité et de la qualité de l'eau à l'échelle locale. La valeur totale des services des zones humides est estimée à 70 milliards de dollars par an pour l'Asie.[8] Bien que certains pays reconnaissent la nature des risques et des avantages et investissent stratégiquement dans leurs systèmes de gestion de l'eau, d'autres n'ont guère abordé le stress hydrique par une politique ou une innovation adéquate.

Malgré des changements démographiques et environnementaux massifs, les problèmes liés à l'eau s'expliquent davantage par la mise en pratique d'approches de gestion, de modèles commerciaux, de politiques et de pratiques obsolètes plutôt que par l'atteinte de limites physiques. La base technique pour une gestion durable de l'eau est bien comprise, ce qui suggère que les solutions doivent viser principalement à modifier les comportements et à encourager une approche systémique multifonctionnelle pour la gestion de l'eau.[9] Obtenir le droit de gérer l'eau est absolument essentiel pour le bien-être futur des personnes et de l'environnement.

© Photo ONU / Albert Gonzalez Farran

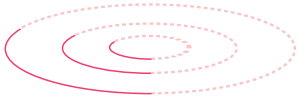
1. Pénurie en eau

entraîne des impacts temporaires ou à long terme sur l'approvisionnement



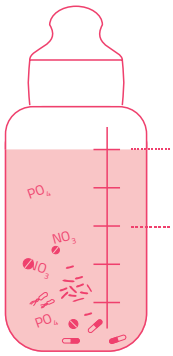
2/3

de la population mondiale vivra dans des pays en situation de stress hydrique d'ici 2025



2. Eau de mauvaise qualité

pour la consommation humaine et pour l'environnement en général

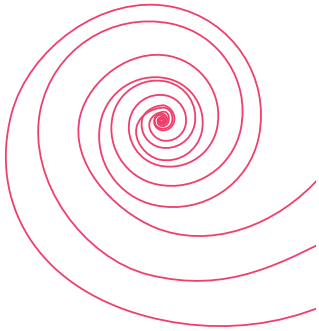


>500,000
enfants de moins de 5 ans sont morts de diarrhée en 2013

Contamination de l'eau
déchets humains et animaux, engrais et pesticides, produits pharmaceutiques et métaux lourds

3. Nombre croissant d'évènements climatiques extrêmes

y compris les inondations et les sécheresses



Les sécheresses sont souvent associées à des migrations et à des conflits

SEPT ASPECTS DE L'INSÉCURITÉ HYDRIQUE

Malgré des années d'efforts pendant la décennie internationale d'action sur le thème « l'eau, source de vie » (2005-2015), le rapport mondial sur les risques 2016 *du Forum économique mondial* a placé les crises hydriques potentielles parmi les dix principaux risques auxquels le monde est confronté, et les a même considérées comme le 3ème risque mondial le plus important en termes d'impact potentiel.[10] Pourtant, l'eau est souvent mise à l'écart dans les discussions sur le rôle des terres et des ressources naturelles dans le développement économique.

L'objectif 6 de développement durable « *Accès à l'eau salubre et à l'assainissement : garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau* » va, espérons-le, attirer l'attention sur ces questions.[13] Un cycle de vie sain pour les ressources en eau est peut-être le composant le plus crucial des politiques et pratiques de gestion durable et équitable des terres.

La sécurité des ressources d'eau est définie comme la capacité d'une population à garantir un accès durable à des quantités suffisantes d'eau de qualité acceptable pour maintenir les moyens de subsistance, le bien-être humain et le développement socio-économique, pour assurer la protection contre la pollution de l'eau et les catastrophes liées à l'eau et pour préserver les écosystèmes dans un climat de paix et de stabilité politique.[14]

Le Congrès mondial de l'eau a noté en 2015 : « *Malgré sa pertinence en termes de sécurité, la question de l'accès à l'eau n'est souvent pas considérée comme un déterminant clé du développement, et est donc absente de nombreux programmes politiques.* »[11] Le *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau en 2012* a reconnu que « *les dangers liés à l'eau représentent 90 % de tous les risques naturels, et leur fréquence et leur intensité augmentent de façon générale* ». En outre, le rapport de 2015 a mis l'accent sur les liens entre l'eau et la pauvreté, l'environnement et la gouvernance ; une mauvaise gestion de l'eau ayant un impact négatif sur ces trois questions.[12]

Nous abordons ici sept aspects distincts de l'insécurité de l'approvisionnement en eau :

1. **Pénuries d'eau** menant à des répercussions temporaires ou à long terme sur l'offre
2. **Faible qualité de l'eau** pour la consommation humaine et dans un environnement plus large
3. **Augmentation du nombre d'événements climatiques extrêmes,** comme les inondations et les sécheresses
4. **Perturbation des flux naturels** dans un nombre croissant de rivières et de plans d'eau intérieurs
5. **Dégradation des terres** en raison d'une hydrologie altérée et d'une mauvaise gestion de l'irrigation
6. **Impacts du changement climatique** dus aux émissions de gaz à effet de serre provenant des systèmes hydriques et des zones humides
7. **Perte de biodiversité** et des services écosystémiques liés à l'eau

4. Perturbation des flux naturels

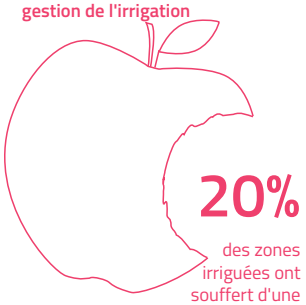
nombre croissant de rivières et d'eaux intérieures

1/5

des rivières sauvages de la planète sera réduit en raison de la production d'énergie hydraulique

5. Dégradation des terres

le résultat d'une hydrologie altérée et d'une mauvaise gestion de l'irrigation

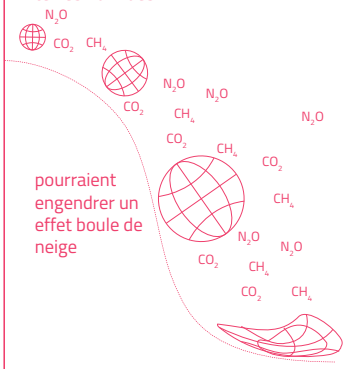


20%

des zones irriguées ont souffert d'une baisse de rendement des cultures

6. Répercussions du changement climatique

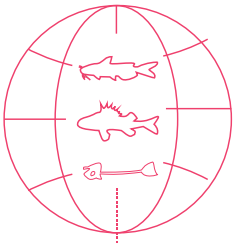
dus au rejet de gaz à effet de serre par les systèmes hydrauliques et les terres humides



pourraient engendrer un effet boule de neige

7. Perte de la biodiversité

et des services écosystémiques liés à l'eau



Une espèce de poisson sur trois est menacée d'extinction dans les eaux fraîches

1. Pénurie d'eau

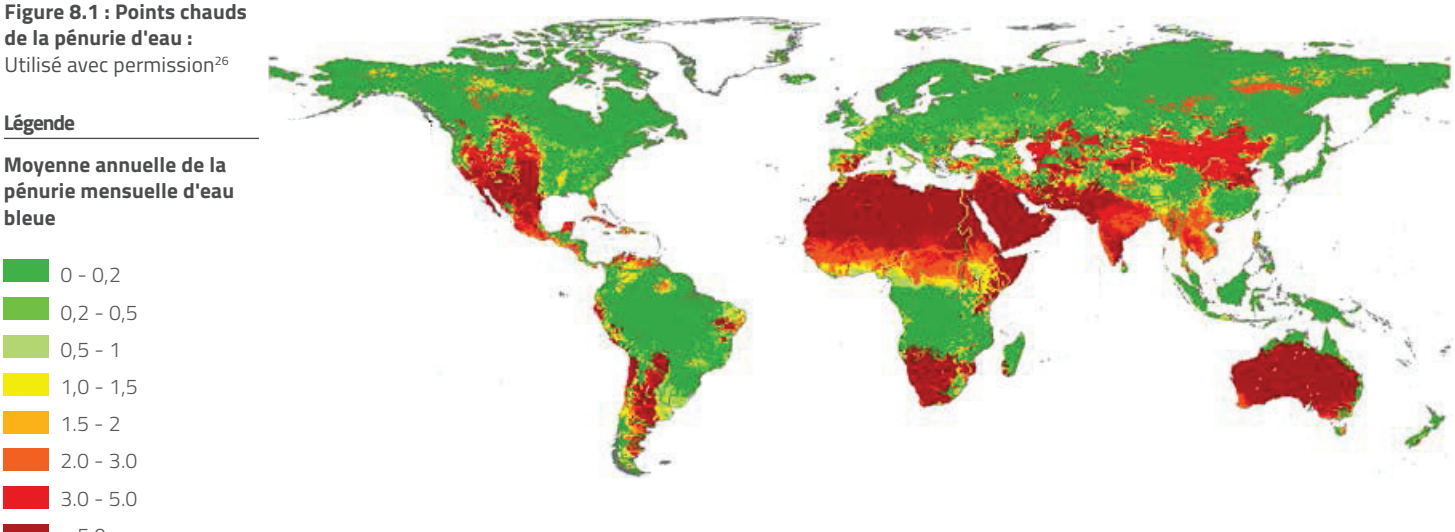
Plus de 1,7 milliard de personnes vivent déjà dans des bassins hydrographiques où l'utilisation de l'eau est supérieure au taux de reconstitution naturelle ; si cette tendance se poursuit, les deux tiers de la population mondiale vivront dans des pays en stress hydrique d'ici 2025.[15] D'autres estimations sont encore plus pessimistes avec plus de 4 milliards de personnes (plus de la moitié de la population de la planète) déjà confrontées à un stress hydrique important pendant au moins un mois de l'année, et un demi-milliard souffrant d'un stress hydrique permanent ;[16] 71 % des zones irriguées mondiales et 47 % des grandes villes connaissent au moins des pénuries d'eau périodiques.[17]

Les pénuries sont générées non seulement par une population croissante, mais aussi par l'augmentation disproportionnée des niveaux d'utilisation et de gaspillage, ainsi que par la perte de la capacité de rétention d'eau et d'approvisionnement des zones humides. Au fur et à mesure que les humains se déconnectent chaque jour un peu plus des ressources en eau, ils deviennent de plus en plus négligents dans leur consommation. Dans le même temps, le manque de tarification dans de nombreux systèmes de production industriels, énergétiques et agricoles peut laisser effectivement penser que l'eau est un service gratuit ou très bon marché, ce qui encourage davantage le gaspillage. Au cours du siècle dernier, la population mondiale a triplé tandis que la consommation d'eau a été multipliée par six,[18] augmentation expliquée en grande partie par l'utilisation agricole.[19] Diverses estimations indiquent que la demande en eau va bientôt dépasser les approvisionnements fiables en eau à l'échelle mondiale.[20,21,22] Notre compréhension de la gravité et de la localisation du stress hydrique s'améliore ; des modèles de plus en plus sophistiqués peuvent identifier les endroits menacés au niveau de systèmes fluviaux, de bassins versants et de zones critiques de pénurie.[23,24,25]

Toute pénurie d'eau dépend à la fois de la disponibilité des ressources en eau et de leur utilisation : certaines régions très sèches n'apparaissent pas comme des points vulnérables en raison de la faible densité de la population ou des pratiques de gestion efficaces, alors que des régions fortement peuplées ou industrialisées peuvent souffrir de pénurie d'eau même si on y enregistre plus de précipitations. Certains des assèchements les plus spectaculaires du monde, comme la perte notoire de la mer d'Aral située entre le Kazakhstan et l'Ouzbékistan,[27] et l'assèchement du lac Tchad entre le Tchad, le Niger et le Nigeria,[28] sont presque entièrement dus au détournement des débits d'eau en amont. Les points vulnérables actuels frappés par des pénuries incluent une grande partie de l'Inde et de la Chine, de grandes régions du centre et de l'ouest des États-Unis, l'Afrique australe, la région méditerranéenne, l'Asie centrale et la rive occidentale de l'Amérique du Sud. Certaines zones qui doivent encore faire face à des pénuries, telles que de grandes parties de l'Afrique, devraient à l'avenir affronter des problèmes majeurs dus à la croissance démographique et à l'urbanisation.[29] La vulnérabilité de certaines zones menacées par des pénuries ou des inondations peut s'expliquer par la perte saisonnière de la capacité de rétention d'eau dans un bassin versant en raison de la dégradation des zones humides, en particulier les zones humides ou les tourbières de haute montagne en Asie du Sud-Est et en Russie, ce qui entraîne une pénurie d'eau extrême durant les années sèches et un potentiel accru de risques d'incendies.[30]

L'insécurité hydrique peut contribuer à l'instabilité sociale et à l'insécurité politique, provoquant des tensions au

Figure 8.1 : Points chauds de la pénurie d'eau : Utilisé avec permission[26]



sein[31] et entre les pays. Plusieurs bassins fluviaux sont particulièrement en danger, dont le Gange-Brahmapoutre, le Han, l'Incomati, le Kunene, le Kura-Araks, le lac Tchad, la Plata, le Lempa, le Limpopo, le Mekong, l'Ob (Ertis), l'Okavango, l'Orange, le Salween, le Sénégal, le Tumen et le Zambèze.[32] Alors que certains pensent que les tensions pourraient finalement aboutir à des conflits ouverts (les « guerres de l'eau »),[33,34] d'autres se demandent dans quelle mesure ces tensions pourraient devenir des conflits entre États.[35] Le débat est en cours, certains pointant la variabilité des précipitations comme un facteur plus important dans l'accroissement des conflits, l'abondance de l'eau pouvant même être considérée comme une cause, tandis que d'autres se penchent plutôt sur le rôle des barrages dans l'interruption des flux d'eau entre les pays. Les nations sont bien conscientes des tensions ; plus de 680 traités relatifs aux ressources en eau ont été signés depuis 1820, essayant d'aborder les différends relatifs aux ressources en eau douce avec des approches consensuelles, et le nombre de ces traités augmente.[36] La plupart des analystes conviennent que les risques de tensions évoluant en conflits sont plus importants à l'échelle locale qu'à l'échelle mondiale.[37] En fait, la réalité des conflits localisés, souvent violents, dus en partie à la dégradation de l'environnement, est déjà bien reconnue.[38]

Un des résultats du stress hydrique, dans les pays à court de sources d'eau superficielles, est l'utilisation accrue des sources d'eaux souterraines. Certaines d'entre elles sont exploitées plus rapidement qu'elles ne sont reconstituées ; bien que cela s'explique en partie par la baisse du réapprovisionnement du système d'eaux souterraines due aux variations climatiques, l'exploration pour trouver des sources d'eau non renouvelables n'est pas considérée comme une option durable. Alors que certaines nappes d'eau souterraines restent très importantes avec des réserves prévues pour durer de nombreuses décennies, la sécurité hydrique est menacée par l'épuisement rapide d'autres sources,[39] en particulier dans les zones sèches,[40] dont la plaine du nord de la Chine, certaines régions de l'Australie, le système aquifère du Sahara du Nord-Ouest, l'aquifère du Guarani en Amérique du Sud, les aquifères des hautes plaines et de la vallée centrale des États-Unis et les aquifères au nord-ouest de l'Inde et du Moyen-Orient.[41] À l'échelle mondiale, 1,7 milliard de personnes vivent dans des zones où les ressources en eaux souterraines et/ou les écosystèmes tributaires des eaux souterraines sont menacés.[42] Les eaux souterraines représentent jusqu'à un tiers de la consommation mondiale d'eau, approvisionnant 2 milliards de personnes et fournissant plus de 40 % de l'eau d'irrigation.[43] Les pays ayant les plus grandes zones d'irrigation par des eaux souterraines sont l'Inde (39 millions d'ha), la Chine (19 millions d'ha) et les États-Unis (17 millions d'ha).[44] La connaissance de l'étendue des réserves reste très limitée dans certaines régions,[45] et le manque de réglementation a souvent conduit à une utilisation débridée.

L'agriculture est de loin la cause la plus déterminante des pénuries d'eau dans le monde ; l'irrigation représente 70 % des prélèvements d'eau dans le monde, et plus encore dans certains endroits confrontés à un stress hydrique majeur.[46] La plupart des nouvelles terres mises en production au cours des cinquante dernières années sont irriguées,[47] et certaines estimations suggèrent que la demande en eau dans l'agriculture pourrait doubler d'ici 2050 en raison de la demande croissante de nourriture.[48] L'agriculture intensive ou la monoculture utilise généralement plus d'eau ; d'autres utilisations sont réparties entre la demande des secteurs industriel et énergétique (20 %) et les municipalités (10 %). Les facteurs qui contribuent typiquement à un usage excessif de l'eau dans l'agriculture sont les systèmes d'irrigation qui fuient, une mauvaise utilisation des champs et des cultures ayant des besoins élevés en eau. Parmi les cultures qui entraînent une consommation plus élevée d'eau, on trouve le coton (7000 à 29000 litres par kg) ; le riz (3000 à 5000 litres par kg) ; la canne à sucre (1500 à 3000 litres par kg), le soja (2000 litres par kg) et le blé (900 litres par kg).[49] En raison des quantités cultivées, le riz représente 21 % de l'eau totale utilisée par les cultures et le blé 12 %.[50]

Encadré 8.1 : Eau bleue, verte et grise

Le terme « eau bleue » désigne l'eau des rivières, des lacs et des nappes souterraines couramment utilisée pour l'irrigation des cultures par la construction d'infrastructures, telles que les barrages, les canaux d'irrigation et les puits. « L'eau verte » est l'eau qui tombe sous forme de pluie, pénètre dans la zone racinaire du sol et retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'évaporation ou de transpiration par les plantes. Après l'irrigation avec de l'eau bleue, la portion consommée par une culture revient dans l'atmosphère en tant que partie verte du cycle hydrologique. L'eau verte est gratuite, car elle ne nécessite la construction d'aucune infrastructure significative pour sa distribution, mais sa disponibilité varie en cours d'année et d'une année sur l'autre. L'eau bleue, par sa nature, a plus de capacité de stockage et elle est donc moins sujette aux fluctuations à court terme, en particulier dans le cas des lacs et des eaux souterraines, mais la surexploitation de l'eau bleue risque d'épuiser la ressource à long terme. Avec un traitement approprié, « l'eau grise » ou les eaux usées domestiques peuvent être recyclées et réutilisées. Ces utilisations comprennent l'eau pour les usages ménagers et l'irrigation des cultures vivrières et non alimentaires, qui peuvent profiter des nutriments présents dans l'eau grise, tels que le phosphore et l'azote.

La production de bétail est encore moins économe en eau, surtout si les animaux sont nourris au grain et élevés dans des espaces confinés. C'est l'élevage des bœufs qui utilise le plus d'eau ; des mesures effectuées aux États-Unis ont révélé que le bœuf nécessite 11 fois la quantité moyenne d'eau utilisée dans d'autres formes de production animale.[51] Une empreinte hydrique importante est également créée en drainant les zones humides pour l'agriculture, y compris l'exploitation intensive des tourbières pour le pâturage du bétail (par exemple, aux Pays-Bas et sur le plateau tibétain) ainsi que pour l'huile de palme et la pâte de bois. En plus de la perte d'eau, le drainage entraîne souvent une dégradation des terres et, finalement, la perte de la couche de tourbe (par oxydation), ce qui affecte la productivité biologique.[52]

Évaluer l'ampleur de l'utilisation de l'eau est d'autant plus compliqué que l'utilisation de l'eau dans un pays peut subvenir aux modes de vie dans un autre lorsque des produits agricoles sont exportés. Le concept d' *empreinte hydrique* identifie l'ampleur réelle de l'utilisation de l'eau par pays par rapport à la consommation de sa population. L'empreinte hydrique interne d'un pays est le volume d'eau domestique utilisé, tandis que l'empreinte hydrique externe est le volume d'eau utilisé dans d'autres pays pour produire des biens et services importés et consommés par ce pays. La somme donne l'empreinte hydrique nationale totale. Quatre facteurs principaux influencent l'empreinte hydrique nationale : le volume de consommation (lié au revenu national brut) ; les modes de consommation (p. ex. consommation faible ou élevée de viande) ; le climat (les conditions de croissance des plantes) ; et les pratiques agricoles (utilisation efficace de l'eau).[53] Les gaspillages en agriculture sont probablement le facteur individuel le plus important qui affecte la sécurité de l'eau et ils doivent donc être considérées comme une priorité élevée pour la réforme des politiques et des pratiques.

2. Mauvaise qualité de l'eau

La question de la qualité de l'eau est tout aussi problématique, à la fois en termes d'accès à l'eau potable et d'impacts plus larges de la pollution sur l'environnement. Près de 3 milliards de personnes sont confrontées à des problèmes d'accès à l'eau potable. L'Objectif du Millénaire pour le développement de l'ONU de *réduire de moitié, d'ici à 2015, la proportion de personnes sans accès durable à l'eau potable*[54] a été atteint dès 2010, mesurée par l'accès à l'eau potable.[55] Il a été soutenu par une campagne vigoureuse de l'ONU et par la formation de l'Accord de partenariat mondial des exploitants d'eau, visant à créer des plateformes régionales de coopération et de partenariats pour fournir de l'eau potable aux plus démunis.[56] Bien que l'objectif ait été atteint dans l'ensemble, montrant que des améliorations majeures sont possibles à l'échelle mondiale, ce n'était pas le cas dans près de la moitié des pays à revenu faible ou moyen pour lesquels des données sont disponibles. Même lorsque l'eau canalisée a été mise en place, il n'existe pas de données claires quant à la quantité assainie.[57] Le manque d'accès à l'eau potable reste un danger majeur pour la santé ; en 2014, on a estimé que 1,8 milliard de personnes utilisent encore des sources d'approvisionnement insalubres et 1,1 milliard de plus prélèvent à des sources présentant un risque au moins modéré.[58,59] En Afrique, plus de 300 millions de personnes n'ont pas accès à l'eau potable,[60] dont 17 % de citadins au sud du Sahara.[61]

L'eau potable insalubre porte un lourd tribut en termes de maladie et de décès. La diarrhée est causée principalement par l'eau potable et les préparations pour nourrissons contaminées par des déchets humains ou animaux. Cela peut être attribué à un certain nombre de facteurs sous-jacents : puits peu profonds et contaminés ; nature illégale ou ad hoc de nouveaux habitats, ce qui entrave l'investissement du gouvernement ; pouvoirs publics submergés par la croissance des populations urbaines ; transfert inadéquat de fonds de gouvernements centraux aux gouvernements locaux ; et financement limité à cause de la dette.[62] Plus d'un demi-million d'enfants de moins de cinq ans sont morts de diarrhée en 2013, chiffre en baisse de plus de 4 % par an depuis 2000,[63] mais qui reste encore à un taux de mortalité très élevé et qui pourrait largement être évité..

© Sudipto Das

Les précipitations deviennent de plus en plus erratiques à cause des changements climatiques, entraînant des risques accrus d'inondations et de sécheresses qui affectent souvent les mêmes endroits à différents moments.

L'eau n'est pas seulement contaminée par les déchets humains et animaux, mais aussi de plus en plus par les engrais et pesticides à base de nitrate et de phosphate, les produits pharmaceutiques, les métaux lourds et d'autres polluants industriels. Depuis les années 1960, l'utilisation d'engrais azotés synthétiques a été multipliée par neuf, d'autres augmentations de l'ordre de 40 à 50 % étant attendues au cours du prochain demi-siècle, tandis que l'utilisation du phosphate a triplé.[64] L'augmentation de l'usage d'engrais, de la production animale et de la consommation de combustibles fossiles entraîne des niveaux plus élevés d'azote réactif dans l'environnement, ce qui fait grimper les niveaux de nitrate au-dessus des seuils de sécurité pour la santé humaine et écosystémique,[65] y compris dans l'eau potable[66] et par l'eutrophisation des eaux douces et côtières.[67] La lixiviation totale mondiale et le ruissellement de l'azote sont estimés à 32,6 millions de tonnes par an, issus en grande majorité des mauvaises pratiques agricoles.[68] L'excès de phosphate exacerbe les impacts de la pollution par les nitrates.[69] D'autres formes de ruissellements agricoles, dont les pesticides, les herbicides et les fongicides qui pénètrent dans les écosystèmes marins et d'eau douce, ont des effets néfastes sur la biodiversité,[70] y compris à des concentrations que la législation actuelle de nombreux pays considère parfois comme sûres.[71] Ainsi, bien qu'il y ait eu des améliorations positives dans la qualité de l'eau potable en termes de contamination brute, il reste encore un long chemin à parcourir et, à l'inverse, d'autres aspects de la qualité, tels que la contamination par des produits chimiques agricoles, semblent s'aggraver.

3. Augmentation du nombre d'événements climatiques extrêmes

Les précipitations deviennent de plus en plus erratiques à cause des changements climatiques, entraînant des risques accrus d'inondations et de sécheresses qui affectent souvent les mêmes endroits à différents moments.[72] Il existe déjà des précipitations accrues dans les latitudes supérieures de l'hémisphère nord, une baisse des précipitations dans certaines parties de la Chine, de l'Australie et des îles du Pacifique et une plus grande variabilité dans les régions équatoriales,[73] affectant la fréquence et la gravité des inondations et des sécheresses.[74] En 2000, 30 % des terres urbaines mondiales étaient situées dans des zones d'inondation à haut risque et elles atteindront vraisemblablement 40 % d'ici 2030.[75] L'intensité et la fréquence des précipitations extrêmes augmentent également l'ampleur et la fréquence des glissements de terrain.[76] Les inondations, comme les effets de la pénurie et de la mauvaise qualité de l'eau, ont une incidence disproportionnée sur les plus pauvres et les plus vulnérables dans de nombreuses sociétés.[77]

Des rafales erratiques de fortes précipitations provoquent des risques accrus pour les communautés vivant près des rivières et des zones humides. Depuis 1900, 90 % des catastrophes causées par des risques naturels ont été liées à l'eau.[78] Les inondations ont représenté 47 % des catastrophes liées à la météo de 1995 à 2005, avec plus de 3000 catastrophes affectant 2,3 milliards de personnes et en tuant 157.000 ; les impacts ont été encore plus élevés en Asie.[79] Les catastrophes liées à l'eau sont les

© Oxfam Afrique de l'Est

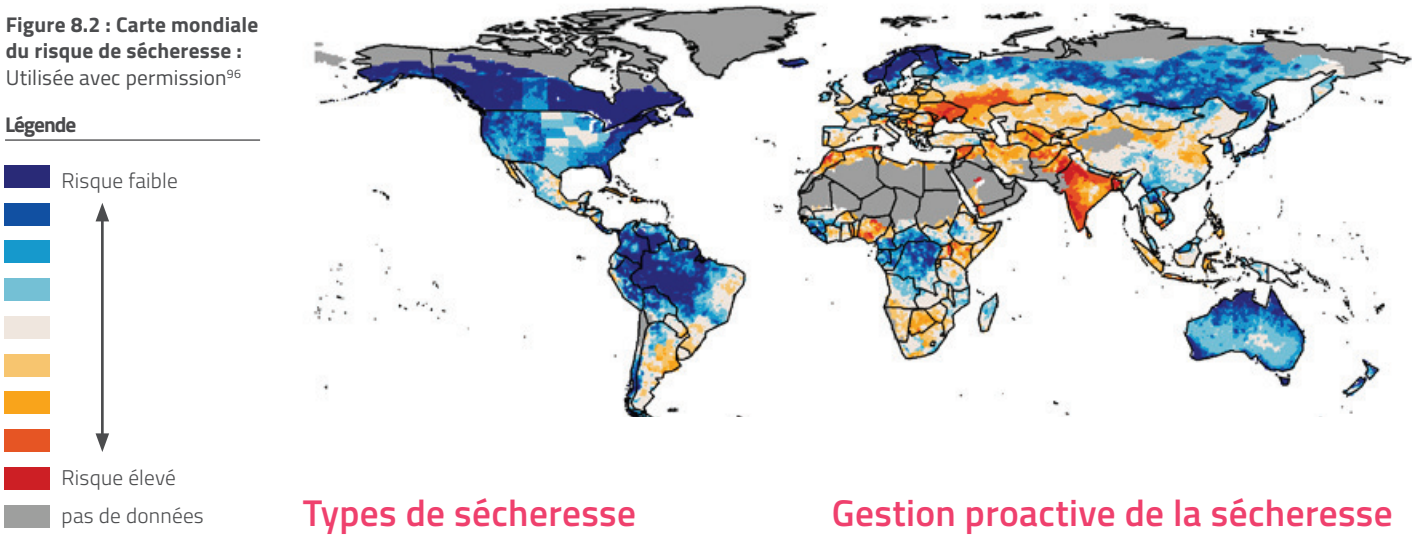
catastrophes soi-disant naturelles les plus fréquentes.[80] Les inondations engendrent également des coûts économiques élevés : par exemple, l'inondation du Danube en Europe en 2006 a coûté plus de 630 millions de dollars de dommages aux infrastructures et aux cultures.[81]

Lorsqu'elle est mal gérée, la sécheresse devient une catastrophe humanitaire, menaçant la sécurité à tous les niveaux.

Le manque de précipitations est également un problème grave. Plus de 50 millions de personnes dans le monde ont été touchées par la sécheresse en 2015.[82] La fréquence et l'intensité des sécheresses sont susceptibles d'augmenter en raison du changement climatique, tout comme leurs impacts car nous continuons à utiliser plus d'eau. La sécheresse peut causer d'énormes dommages subis par l'environnement, l'économie et la stabilité sociale. De 1950 à 2000, il y a eu 296 sécheresses à grande échelle (c.-à-d. sur plus de 500.000 km^2 et pendant plus de 3 mois) de par le monde[83] et la fréquence, l'intensité, la durée et l'étendue des sécheresses augmentent régulièrement,[84] en particulier dans les régions tropicales et subtropicales. Par exemple, en Somalie, les sécheresses ont été les causes principales de 258.000 décès entre 2011 et 2013.[85] Entre 1900 et 2013, des pertes économiques mondiales totalisant 135 milliards de dollars ont été enregistrées à cause de catastrophes dues aux sécheresses.[86] Lorsqu'elle est mal gérée, la sécheresse devient une catastrophe humanitaire, menaçant la sécurité à tous les niveaux. Les sécheresses sont souvent associées aux migrations et aux conflits, en particulier dans les zones où des tensions politiques, des institutions fragiles, des problèmes économiques et des rivalités de groupes sont déjà présentes.

Les changements climatiques pourraient créer un effet d'escalade à l'avenir.[87] L'année 2015 a été la plus sèche depuis le début des mesures il y a plus d'un siècle et l'une des plus chaudes, produisant des conditions de sécheresse dans une grande partie du globe, avec plus de 50 % des personnes touchées en Afrique.[88] La sécheresse de 2015 a été aggravée par l'une des manifestations les plus fortes d'El Niño.[89] En Afrique, au Moyen-Orient et en Méditerranée, la gravité des impacts de la sécheresse est exacerbée par des demandes en eau plus élevées.[90] Les sécheresses provoquent de la souffrance humaine et des stress écologiques ; lorsqu'elles surviennent dans des communautés et des écosystèmes mal adaptés, comme cela s'est récemment produit dans certaines régions de l'Amazonie, elles peuvent également entraîner des changements majeurs et à long terme dans l'écologie.[91] Les sécheresses provoquées par El Niño-Oscillation australe (ENOA) sont de plus en plus liées aux incendies majeurs affectant des millions d'hectares de tourbières en Asie du Sud-Est, ce qui provoque des émissions majeures de smog. En 2015, l'Indonésie a subi plus de 16 milliards de dollars de pertes économiques[92] et plus de 106.000 décès prématurés[93] en raison des incendies de tourbières et du smog. L'apparition de sécheresses sévères inattendues dans de nombreuses régions du monde, telles que la « sécheresse du millénaire » de 2001-2009 au sud-est de l'Australie,[94] oblige à repenser les stratégies agricoles et la viabilité de certaines sociétés traditionnelles établies de longue date. Le changement des normes climatiques ainsi que des extrêmes climatiques plus fréquents et plus intenses ont des impacts majeurs sur la sécurité hydrique et alimentaire.

Figure 8.2 : Carte mondiale du risque de sécheresse : Utilisée avec permission[96]



Types de sécheresse

Sécheresse météorologique: manque de précipitations / d'humidité, aggravé par des vents secs et des températures élevées, pouvant provoquer une crise de l'eau s'il se prolonge et pouvant commencer et finir soudainement.

Sécheresse agricole: modifications de l'humidité atmosphérique, dans la mesure où l'humidité du sol est réduite, affectant les cultures et les animaux et l'évapotranspiration.

Sécheresse hydrologique: diminution de la quantité et de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, en raison d'un manque de précipitations et de la surexploitation agricole et souvent due à la sécheresse météorologique.

Sécheresse socioéconomique: la fourniture de biens et de services, tels que l'énergie, la nourriture et l'eau potable est réduite ou menacée par des changements des conditions météorologiques, hydrologiques et terrestres.[95]

Gestion proactive de la sécheresse

Les principaux piliers d'une meilleure préparation et résilience à la sécheresse sont les suivants :

Surveillance de la sécheresse et systèmes d'alerte précoce: évaluer l'adéquation des stations météorologiques, des ressources en eau, des réseaux hydrologiques et des informations satellitaires, etc.; mettre en place un système complet de surveillance de la sécheresse et d'alerte précoce qui intègre les paramètres climat, eau et sol, ainsi que les indicateurs socio-économiques aux niveaux national et infranational ; produire des données de précipitation à grille à haute résolution dans le pays, ainsi qu'une carte des zones à risque grâce aux systèmes d'alerte précoce de la sécheresse, en calculant les indices standard de sécheresse.

Risque de vulnérabilité et évaluation d'impact : identifier les processus qui contribuent à la vulnérabilité et à la résilience de la communauté ; développer le profil de risque des communautés et des régions vulnérables avant le début des sécheresses ; capter les impacts de la sécheresse après son incidence.

Mesures d'atténuation du risque de sécheresse: augmenter l'approvisionnement en eau grâce à la collecte de l'eau de pluie, à la réhabilitation des terres, à la recharge des eaux souterraines, aux nouvelles sources potentielles, etc.; réduire la demande grâce à une utilisation plus efficace de l'eau, comme l'examen de sa répartition, l'adoption/l'examen de tarifs de l'eau, l'ajustement du cadre juridique et institutionnel, la tarification de l'eau, son retraitement et l'utilisation / le recyclage des eaux usées, etc., mais surtout accroître l'efficacité de l'utilisation agricole de l'eau ; augmenter la résistance à la sécheresse du bétail grâce à l'équilibrage du bétail dans les zones irriguées, la gestion de la capacité d'accueil des pâturages, l'emploi d'aliments et de fourrages indigènes, des génotypes de mammifères peu consommateurs d'eau, etc.

© Jacinto Lluch Valero

4. Perturbation des flux naturels

Les changements hydrologiques rapides dans plusieurs des principaux systèmes fluviaux du monde, principalement à cause de la construction de barrages pour l'hydroélectricité et le stockage des eaux de surface, provoquent des contraintes supplémentaires sur les écosystèmes d'eau douce et les communautés environnantes. La construction de barrages offre de grands avantages en termes de puissance, mais elle a des effets secondaires sociaux et environnementaux majeurs, qui deviennent plus évidents au fil du temps[97] et qui mènent à une résistance croissante des communautés locales et des organisations de la société civile.[98] À l'échelle mondiale, au moins 3700 grands barrages, chacun d'une capacité d'au moins un mégawatt, sont prévus ou en construction. Ceux-ci augmenteront en théorie l'énergie hydroélectrique mondiale de 73 %, à environ 1700 GW, mais ils réduiront de plus d'un cinquième les rivières restantes de la planète coulant librement.[99]

Le fonctionnement des barrages peut entraîner des conditions de sécheresse extrêmes en aval. Par exemple, dans la partie supérieure du bassin du Niger on estime que l'impact combiné des détournements d'eau pour les projets d'hydroélectricité et d'irrigation pourrait réduire de 31 % les captures de poissons dans le delta et de 28 % les pâturages, avec des conséquences désastreuses pour les communautés qui dépendent de ces ressources. À moins que les rejets ne soient suffisamment larges et correctement temporisés, ces mesures créeraient des conditions semblables à la dernière sécheresse majeure en 1984, lorsque les trois quarts du delta se sont asséchés et que les gens ont fui en masse.[100]

Le blocage de l'écoulement libre des rivières a un certain nombre d'effets néfastes, compte tenu de la perte de connectivité longitudinale et latérale des écosystèmes d'eau douce. Les barrages ont un impact négatif sur les poissons et les autres espèces aquatiques, sur la sédimentation en aval et sur la disponibilité de l'eau, les moyens de subsistance et les transports. Le stockage dans des réservoirs peut également altérer les températures de l'eau en aval.[101] La construction du barrage lui-même conduit à la perte directe d'écosystèmes, et encourage l'installation des populations, ce qui entraîne la conversion de nouvelles terres et la perte des écosystèmes.[102] La déforestation, qu'elle soit ou non associée à la construction de barrages, crée une rétroaction négative; elle augmente l'envasement et elle modifie l'hydrologie, tout en réduisant la production et la durée de vie du système d'énergie hydroélectrique.[103] Les barrages sont également associés à des émissions élevées de méthane, contribuant de manière significative au changement climatique.[104] La réduction des crues dans les plaines inondables peut également abaisser la recharge des eaux souterraines et contribuer à la diminution des précipitations régionales. Mais l'attraction de ces grandes sources d'énergie fait que les compromis plus larges reçoivent souvent une attention insuffisante.

Encadré 8.2 : Changement d'hydrologie en Amazonie[105]

Une intensification massive de la construction de barrages pour produire de l'énergie hydroélectrique modifie l'écoulement et l'intégrité des rivières dans l'Amazonie :[106] impactant ainsi l'écologie, le poisson-chat migratoire et les dauphins de rivière ; bloquant les flux d'eau annuels importants ; piégeant des larves de poissons et de jeunes espèces ;[107] perturbant le transport fluvial et l'approvisionnement alimentaire ; et réduisant considérablement la sédimentation en aval et sur la côte.[108] Il existe déjà 154 grands barrages en exploitation, principalement au Brésil, générant 18 000 MW,[109] ainsi que des dizaines de milliers de petits barrages pour recueillir de l'eau pour le bétail.[110] On estime que 277 des plus grands barrages sont en phase de planification initiale,[111] y compris dans les zones protégées et les terres indigènes,[112] avec une capacité de production d'environ 95 000 MW.[113] Si tout cela se poursuit, il n'y aura plus que trois affluents libres dans le bassin amazonien,[114]affectant en permanence l'écologie, l'économie et le climat de la région.[115] Une étude a conclu qu'en raison des pertes forestières estimées, la production d'énergie hydroélectrique pourrait être réduite de près de 75 % du rendement maximal d'ici 2050.[116] La planification à l'échelle du bassin et l'intégration des critères sociaux et environnementaux dans la prise de décision sont tous deux nécessaires afin que la production d'énergie ne compromette pas les autres services écosystémiques.[117]

5. Dégradation des terres

Bien que la pénurie en eau soit un problème mondial, la conversion des forêts naturelles et des prairies en terres agricoles a augmenté la masse d'eau dans les sols à l'échelle locale.

Les systèmes d'irrigation mal gérés abîment directement les terres, réduisent les rendements, augmentent les nappes phréatiques et accroissent la salinité et l'alcalinité (p. ex. sols sodiques). Bien que la pénurie en eau soit un problème mondial, la conversion des forêts et des prairies naturelles en terres agricoles a augmenté la masse d'eau dans les sols à l'échelle locale. Même lorsque les cultures ne sont pas irriguées, la conversion de la végétation naturelle peut avoir une incidence sur la disponibilité et la qualité de l'eau. Au cours des 300 dernières années, les cultures pluviales ont augmenté de 460 % et les pâturages de 560 %, diminuant l'évapotranspiration et augmentant la recharge (deux ordres de grandeur) et les débits (un ordre de grandeur).[118]

Parallèlement, l'augmentation de la quantité d'eau dans les systèmes agricoles a encore dégradé la qualité de l'eau en mobilisant des sels et en augmentant la salinisation, à cause des nappes phréatiques superficielles et du ruissellement des engrais dans les aquifères et les eaux de surface.[119] L'irrigation avec des eaux souterraines minéralisées augmente également la salinité des sols et elle diminue la productivité des cultures. Dès 1993, la Banque mondiale estimait que 20 % de la superficie des terres irriguées souffrait de réductions du rendement des cultures en raison de la salinité[120] et certains estiment que près de la moitié des terres irriguées sont désormais affectées par des niveaux de sel anormaux.[121] Par exemple, la salinité affecte désormais 70 à 80 % du bassin du Murray-Darling, la moitié du bassin de la mer d'Aral, un tiers du delta du Nil,[122] 28 % des États-Unis et un quart du Pakistan et de l'Ouzbékistan.[123]

Le drainage des tourbières est lié à diverses formes de dégradation des sols.[124] Dans certaines parties de l'Asie centrale et de la Chine, il a provoqué la désertification d'anciens paysages dominés par les tourbières, l'érosion majeure du sol par le surpâturage et la perte de productivité subséquente. Le drainage des tourbières entraîne inévitablement le compactage du sol et l'oxydation du carbone de la tourbe, ce qui entraîne un affaissement du sol qui cause des risques importants dans les régions de basses terres. Étant donné que la base de la couche de tourbe se situe souvent au-dessous du niveau de la mer ou de la rivière, l'affaissement du sol au fil du temps entraînera des risques d'inondation accrus. Dans de nombreux pays, cela a été atténué par la construction de digues et de systèmes de pompage, cependant, compte tenu de la poursuite inévitable de l'affaissement des sols de tourbe drainés, des paysages entiers peuvent finalement se situer au-dessous du niveau de la mer. Par exemple, la moitié des Pays-Bas se trouve au-dessous du niveau de la mer en raison des siècles de drainage des tourbières, entraînant des risques importants en termes de sécurité de l'eau et d'intrusion d'eau salée, ainsi que des coûts élevés en termes de maintenance des infrastructures (projetés à 25 milliards d'euros entre 2010 et 2050 pour les 200.000 ha restants de tourbières néerlandaises).[125] Alors que les Pays-Bas ont depuis longtemps atteint un point de non retour, dans le sud-est de l'Asie, le drainage des tourbières des basses terres n'a commencé que dans les années 1970. Dans les régions tropicales, le drainage des tourbières entraîne une forte teneur en émissions de CO_2,[126] et il provoque un affaissement de 3 à 6 cm par an.[127] Toutefois, les niveaux élevés et le schéma saisonnier des précipitations risquent d'exclure les options d'atténuation par des systèmes de digues et de pompage. Le drainage continu peut entraîner des conséquences dévastatrices, dont des risques d'inondation massive et la perte de terres productives.[128]

La dégradation des terres affecte directement la sécurité de l'eau en réduisant sa qualité globale : des niveaux élevés de sel dans les eaux souterraines à l'augmentation des flux de solides et de produits agrochimiques en suspension dans les eaux souterraines et de surface. La perte de végétation et l'érosion subséquente des sols

© Javier Pedro Fernandez Ferreras

autour des réservoirs peuvent entraîner un envasement rapide et un raccourcissement spectaculaire de la durée de vie des endiguements et des centrales hydroélectriques.[129] L'érosion peut mener à des paysages dramatiquement dégradés de ravines et de dépôts de sable portés par le vent. Elle peut également réduire la productivité agricole de manière plus subtile. Un sol nu, dégradé et érodé a moins de capacité de rétention d'eau, soit pour son stockage tout au long de l'année, soit pour absorber des excès soudains et minimiser les inondations après de fortes pluies.[130]

6. Impacts des changements climatiques

La gestion des zones humides a un effet important sur le climat. En général, les zones humides ont tendance à être des puits de carbone et d'azote, mais elles peuvent être des sources d'autres gaz à effet de serre comme le méthane ;[131] le solde détermine si une zone humide est une source nette ou un puits de gaz à effet de serre.[132] Bien qu'il soit nécessaire de faire preuve de prudence en estimant dans quelle mesure les zones humides contribuent à l'atténuation du changement climatique par séquestration,[133] il est clair que leur capacité à stocker du carbone fournit un stock global de carbone important. Les zones humides côtières sont particulièrement importantes pour absorber le dioxyde de carbone et le séquestrer dans les sédiments, ce qui permet de créer de gros stocks de carbone. Globalement, les zones humides détiennent une quantité disproportionnée du carbone du sol total de la Terre, soit environ 30 % du total, tout en occupant seulement 5 à 8 % de sa surface terrestre.[134] Inversement, le drainage ou la combustion de la tourbe augmentent les émissions de carbone et de fumées,[135] tout comme le drainage ou la perturbation d'autres types de zones humides. La destruction des zones humides mène finalement à la libération de carbone[136] et la mauvaise gestion des zones humides peut également entraîner de grandes pertes de carbone,[137] bien que des incertitudes subsistent quant à la quantité totale des stocks de carbone contenus dans les zones humides.[138]

Alors que les tourbières ne couvrent qu'environ 3 % de la surface terrestre, elles contiennent le plus grand stock de carbone de la planète, considéré comme équivalent à celui de tous les autres biomes terrestres,[139] en particulier dans la toundra boréale. Les tourbières intactes contiennent jusqu'à 1 300 tonnes de carbone par ha[140] et la quantité de carbone qui pourrait être stockée dans les tourbières est estimée à 550 Gt, à l'échelle mondiale.[141] Les tourbières considérées comme des "points chauds"se trouvent dans les forêts tropicales du sudest asiatique ainsi que dans la toundra en Russie, au Canada, en Alaska et en Scandinavie. Le drainage pour la mise en place de plantations, telle que le palmier à huile, crée une forte augmentation des émissions.[142] On estime que 0,5 à 0,8 Gt de carbone par an sont déjà perdues en raison de la conversion des tourbières, principalement dans les régions tropicales.[143] Par exemple, les émissions provenant des tourbières drainées dans le sud-est de l'Asie ont atteint entre 355 et 874 Mt par an dans les premières années du XX^{e} siècle, allant même jusqu'à 1 400 Mt d'émissions par an de 1997 à 2006, en raison des incendies de tourbières, principalement en Indonésie.[144] Alors que les pertes de carbone de la toundra boréale sont actuellement beaucoup plus faibles, elles peuvent potentiellement dépasser celles des tropiques car le réchauffement fait fondre la glace et assèche la tourbe. Certains sites en Alaska sont déjà passés du statut de puits à celui de sources de carbone,[145] et l'on craint un possible dégagement soudain de carbone depuis l'Arctique.[146]

Des expériences au Canada ont révélé que les pertes de CO_2 provenant des zones tourbières coupées pouvaient être ralenties grâce à la restauration et à la revégétalisation de ces zones.[147] Une campagne de restauration réussie des tourbières a été menée en Irlande après la coupe industrielle passée,[148] et des résultats positifs similaires ont été signalés dans le sud-est de l'Asie, en Russie, en Argentine et dans l'Himalaya.[149] Les efforts visant à restaurer les zones humides côtières (par exemple, les marais salants, les mangroves, les herbiers sous-marins) se multiplient afin de leur redonner leur capacité naturelle à capturer le carbone. La restauration à grande échelle des mangroves est, par exemple, actuellement en cours dans des pays comme le Kenya, la Tanzanie, le Sri Lanka et l'Inde.[150]

7. Perte de biodiversité et de services écosystémiques liés à l'eau

Malgré les efforts visant à conserver et à utiliser intelligemment les zones humides,[151] entre 64 et 71 % de ces zones ont été perdues depuis 1900,[152] et davantage ont été dégradées par la pollution, les écoulements, la surexploitation et les espèces envahissantes.[153] La perte de zones humides se poursuit à un rythme plus soutenu que pour les autres écosystèmes et s'accompagne d'une perte disproportionnée de services écosystémiques.[154] Entre 1970 et 2008, l'étendue des zones humides naturelles a diminué en moyenne d'environ 30 % à l'échelle mondiale.[155]

La destruction de zones humides se poursuit à un rythme plus soutenu que pour les autres écosystèmes et s'accompagne d'une perte disproportionnée des services écosystémiques.

Ces pertes ont des effets sur la biodiversité en eau douce ainsi que sur la santé et la productivité des terres environnantes et des communautés qui y vivent. Les nappes d'eau douce ouvertes occupent moins de 1 % de la surface terrestre mais contiennent jusqu'à 12 % de toutes les espèces connues, dont un tiers de toutes les espèces de vertébrés.[157] La biodiversité en eau douce diminue[158] et une espèce de poisson d'eau douce sur trois[159] ainsi que 30 % des amphibiens[160] sont menacés d'extinction. Par exemple, le poisson-chat représente 39 % des espèces de poissons amazoniennes connues, qui dépendent de l'intégrité des zones de fraie essentielles dans le bassin versant en amont,[161] mais leur survie est menacée par des projets de construction de barrages sur les grands fleuves[162] et par la surexploitation.[163] Au-delà de la survie des espèces, la pêche est une source importante de nourriture et de revenus, la consommation de poissons par habitant étant en moyenne de 94 kg par an pour les communautés riveraines.[164] Une analyse de 145 bassins hydrographiques majeurs a révélé que les bassins présentant la plus grande valeur biologique étaient généralement les plus dégradés.[165] D'autres groupes d'espèces d'eau douce sont également menacés. Beaucoup de mollusques ont une capacité de déplacement limitée, ils sont donc vulnérables ; sur plus de 1 200 espèces d'escargots (*Hydrobiidae*), 182 sont listées comme menacées sur la Liste rouge de l'UICN.[166]

Lorsque les cours d'eau douce et leur biodiversité sont dégradés ou détruits, leurs services écosystémiques sont également perdus. Ces services sont généralement plus bénéfiques pour la société que les utilisations productives qui les remplacent[167] puisqu'ils sont destinés à un grand nombre de personnes, alors que les avantages tirés de la conversion et de la production ont tendance à profiter seulement à un ensemble restreint d'acteurs. On ne se rend compte de l'importance d'un service écosystémique que lorsque celui-ci est amené à disparaître, et sa restauration, quand elle est possible, est presque toujours plus coûteuse que si l'écosystème fonctionnel avait été protégé en premier lieu. Le tableau 8.1 fait état de certains des principaux services écosystémiques liés à l'eau.

Encadré 8.3 : La Convention de Ramsar

La Convention de Ramsar sur les zones humides, signée à Ramsar, en Iran, en 1971, est un accord international axé sur « *la conservation et l'utilisation raisonnée des zones humides et de leurs ressources.* » Les parties signataires de la convention sont tenues de désigner au moins une zone humide (généralement la liste en comporte plus d'une) sur leur territoire comme *zone humide d'importance internationale*. Alors que tous les sites Ramsar doivent respecter une gestion durable, certains sont également considérés comme des zones protégées officielles bien que d'autres restent ouverts à de multiples usages. La Convention de Ramsar fournit des conseils techniques sur la gestion et l'évaluation des zones humides, en étroite collaboration avec l'UICN et avec d'autres organisations internationales pour promouvoir la gestion durable des zones humides mondiales.

La convention favorise également l'utilisation raisonnée des zones humides, point fondamental de sa mission, et définit l'utilisation raisonnée comme « le maintien de leur caractère écologique, grâce à la mise en œuvre d'approches écosystémiques, dans le cadre du développement durable ». L'utilisation raisonnée consiste en la conservation et en l'utilisation durable des zones humides et de tous les services qu'elles fournissent, au bénéfice de la population et de la nature. Les aspects pratiques de cette utilisation raisonnée comprennent l'adoption de politiques nationales sur les zones humides ; l'établissement d'un inventaire des zones humides, d'un suivi, de recherches, de formations, de campagnes d'éducation et de sensibilisation du public ; et l'élaboration de plans de gestion intégrés sur les sites des zones humides.[156]

Tableau 8.1 : Typologie des services écosystémiques des zones humides[168]

Services	Service écosystémique	Exemple
Soutien	Production primaire	La photosynthèse chez les plantes aquatiques et la végétation des zones humides.
	Cycle des éléments nutritifs	La plus grande valeur économique totale de tous les services écosystémiques des zones humides[169], bien que cette valeur soit généralement sous-estimée à l'heure actuelle.
	Conservation de la biodiversité	L'Amazonie compte environ 6 000 à 8 000 espèces de poissons[170] et 850 espèces de poissons du Mekong.[171]
	Zone de reproduction	Les zones de reproduction pour les espèces aquatiques sont iimportantes à la fois pour des raisons commerciales et de subsistance.
	Formation des sols	Les sédiments dans le Mekong représentent plus de 50 % de la production alimentaire de base du Viet Nam.[172]
	Productivité marine	Les sédiments transportés par les rivières permettent également de préserver des écosystèmes en mer. Chaque année, entre 500 et 1 000 millions de tonnes de boue provenant des rivières de l'Amazone et de l'Orinoco[173] créent d'énormes bancs de boue[174] qui préservent les mangroves[175] et maintiennent la productivité de la pêche.[176]
	Approvisionnement des aquifères	Les zones humides permanentes sont une ressource clé pour alimenter les aquifères, et souvent l'option la moins coûteuse pour stabiliser et assurer l'approvisionnement.[177]
Approvisionnement	Capture de poissons et d'autres espèces	La quantité de poissons d'eau douce pêchés en Afrique dépassent les 2,5 Mt par an ;[178] le Delta du Niger en produit entre 40 et 80 000 t/an.[179] Le Mekong produit 2 Mt par an ;[180] fournissant ainsi 80 % des protéines animales du Cambodge.[181] Pourtant, les sites de pêche sont menacés : 4 espèces sur 11 pêchées pour le commerce dans les grands lacs nord-américains ont maintenant disparu.[182]
	Collecte de plantes	De nombreuses espèces d'eau douce sont collectées pour l'alimentation et le bétail.[183]
	Collecte de matériaux	Les papyrus, les roseaux, les joncs, etc. sont utilisés pour les toitures, les outils, les clôtures, etc.
	Pâturage du bétail	Les zones humides sont souvent des zones de pâturage très productives, offrant un pâturage saisonnier aux pasteurs et éleveurs.
	Cultures	Les sols riches en tourbe soutiennent l'agriculture productive.
	Source d'énergie	L'énergie hydroélectrique est une source d'énergie importante. Le papyrus est compacté en briquettes de carburant au Rwanda. La tourbe est encore un combustible domestique important dans certaines régions d'Irlande et d'Ecosse.
	Matières premières	Le bois pour le feu et le bois de construction sont collectés dans les forêts riveraines.
	Médicaments	Certaines espèces de plantes d'eau douce sont souvent utilisées comme médicaments.
Régulation	Inondation	Les zones humides absorbent l'eau issue des inondations et réduisent les risques de catastrophe.[184]
	Protection contre les risques liés aux intempéries	Les forêts riveraines et les zones humides saisonnières ralentissent les inondations et protègent les communautés en aval.[185]
	Capture du carbone	Les zones humides et en particulier les tourbières sont le plus grand réservoir de carbone de la planète,[186] pouvant contenir jusqu'à 1 300 tonnes de carbone par ha.[187]
	Stabilisation du climat	L'évaporation des lacs contribue à réduire les phénomènes climatiques extrêmes.
	Approvisionnement en eau	Certains types de forêts, comme les forêts tropicales humides[188,189] ainsi que quelques vieilles forêts d'eucalyptus,[190] augmentent le débit en eau.
	Purification de l'eau	Les bassins versants forestiers et les zones humides fournissent une eau plus propre, ce qui réduit le besoin de traitement de l'eau.[191]
Culturel	Récréatif	Les zones humides peuvent être une attraction touristique : le delta de l'Okavango au Botswana attire 120 000 touristes par an.[192]
	Culturel et artistique	Les lacs et les rivières ont inspiré des artistes, des musiciens et des écrivains.
	Spirituel	Beaucoup de zones humides ont des valeurs locales sacrées ou sont des sites de pèlerinage importants, tels que les lacs de haute altitude sacrés en Inde.[193]
	Science et éducation	Les eaux douces fournissent des centres de recherche et d'éducation importants.

CAUSES INDIRECTES DES PÉNURIES D'EAU

La section ci-dessus a abordé certaines des causes à l'origine des pénuries d'eau : irrigation et production animale mal gérées, demande excessive de l'industrie, demande énergétique et des centres urbains, pollution, construction de barrages, évolution du climat et croissance démographique. Ci-dessous, nous aborderons certaines des causes indirectes :

1. Une approche fragmentée de la gestion de l'eau
2. Stratégies et modèles d'affaires qui définissent les systèmes de gestion à forte consommation d'eau
3. Modèles de négociation et de tarification qui constituent des incitations perverses
4. Changements démographiques et urbanisation rapide
5. Changement climatique

1. Une approche fragmentée de la gestion de l'eau

L'adoption d'une approche à usage unique de la gestion de l'eau, sans politique intégrée de l'eau,[194] entraîne souvent d'importants effets négatifs. Analysons quelques exemples parlants, comme la mer d'Aral en Asie centrale qui, en 2016, avait réduit à un dixième de sa taille de 1961 ; la majeure partie de l'eau provenant de deux rivières tributaires était détournée à des fins d'irrigation.[195] Le lac Tchad en Afrique a diminué de plus de 90 % dans certaines zones au cours des quarante dernières années en raison de la sécheresse et de l'irrigation.[196] À l'inverse, les avantages des approches intégrées ou « nexus » de la gestion de l'eau sont connus depuis un siècle, avec quelques exemples importants montrant la voie à suivre.[197]

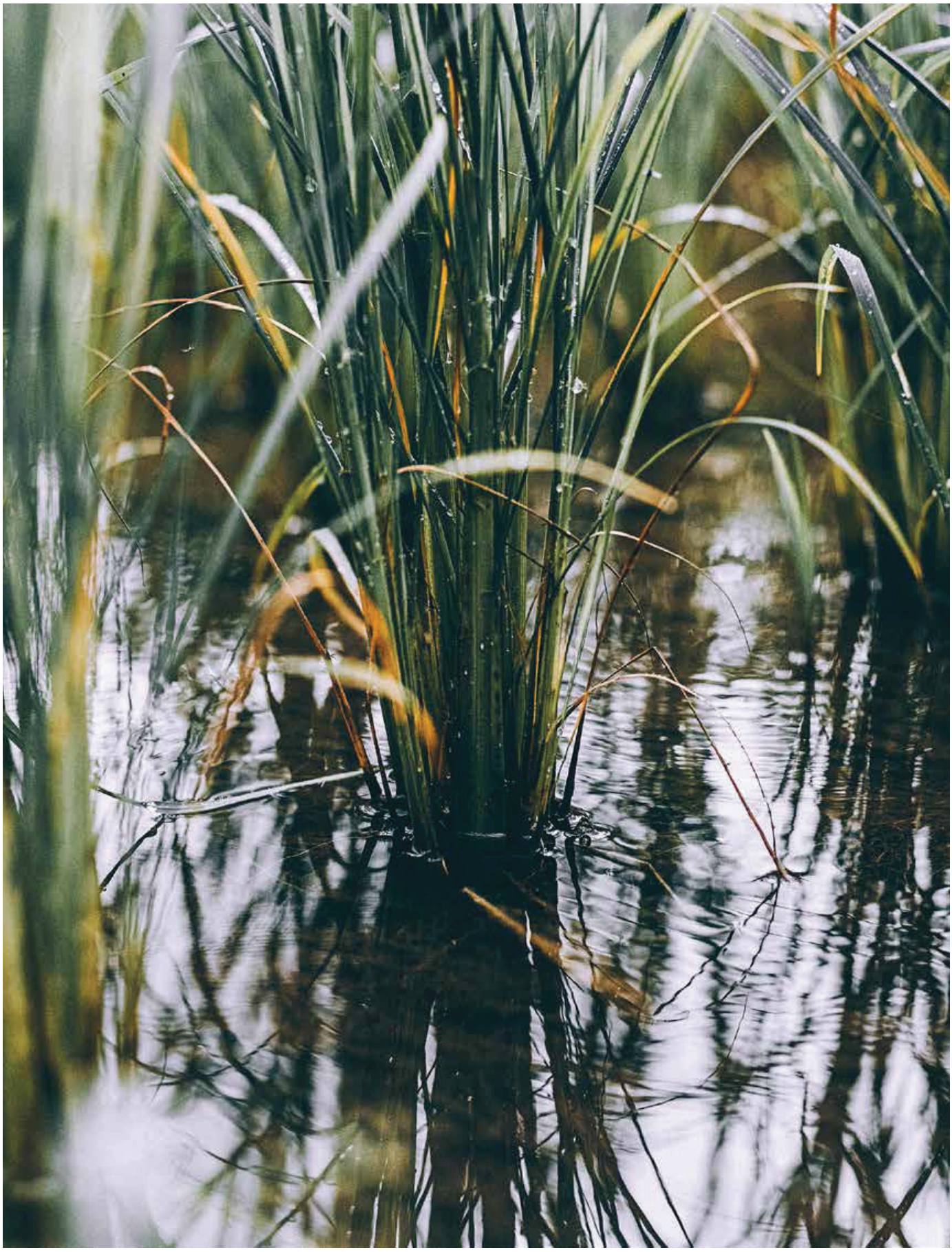
Pourtant, les gestes de coopération à des échelles relativement importantes restent rares. La planification de la gestion de l'eau (quand elle est mise en oeuvre) tend à suivre une approche fragmentée ou cloisonnée, avec différents secteurs (et même différents individus dans un seul secteur) entrant en concurrence au lieu d'instaurer une collaboration, au détriment du bien commun.

2. Stratégies et modèles d'affaires qui définissent les systèmes de gestion à forte consommation d'eau

L'accent mis sur les monocultures dans l'agriculture moderne tend à augmenter l'utilisation de l'eau et donc les conséquences sur les ressources en eau (voir chapitre 7). Par exemple, au cours des 50 dernières années, la superficie consacrée au soja a été multipliée par dix, jusqu'à atteindre plus d'un million de km^2 : l'équivalent de la superficie de la France, de l'Allemagne, de la Belgique et des Pays-Bas combinée.[199] Sa croissance a été particulièrement importante en Amérique du Sud où la production a progressé de 123 % entre 1996 et 2004.[200] Les estimations tablent sur une augmentation supplémentaire de 140 % pour atteindre 515 millions de tonnes d'ici 2050.[201] La culture du soja est principalement alimentée par la pluie en Amérique du Sud, mais elle est irriguée partout ailleurs.[202] La conversion à grande échelle vers une culture intensive du soja continuera probablement à réduire la disponibilité de l'eau.[203] La qualité de l'eau est également affectée par l'érosion des sols et les résidus agrochimiques, symptômes d'une forte utilisation de pesticides, comme en témoignent les champs de soja en Argentine.[204] Pourtant, le soja est un secteur pesant plusieurs milliards de dollars, basé sur la vente de produits à haute valeur ajoutée, les aliments pour animaux. Les systèmes de production alternatifs qui utilisent les ressources en eau de manière plus efficace ne peuvent pas concurrencer économiquement celui du soja, surtout lorsque le prix de l'eau est sous-évalué.

D'autres cultures menacent également les systèmes hydrologiques. Des études en Thaïlande ont révélé que la production de riz (rizière) représentait la plus forte consommation d'eau, suivie par le maïs, la canne à sucre et le manioc. La production d'une deuxième rizière réduit considérablement la capacité des bassins hydrographiques.[205] Le drainage des tourbières pour le pâturage et les cultures agricoles réduit leur capacité de rétention d'eau, ce qui entraîne une augmentation

L'augmentation des importations de produits agricoles a été préconisée comme solution pour les pays dont les ressources en eau sont limitées. Cette stratégie pourrait constituer une solution durable si les cultures étaient cultivées dans des pays riches en eau. Mais si cette solution utilise des sources d'eau rares, désavantage les communautés les plus pauvres, dégrade les terres et augmente le stress hydrique, elle devrait être considérée comme non-durable sur le plan environnemental et social.



© Peter Hershey

Encadré 8.4 : Gestion intégrée des ressources en terres et en eau dans la plaine du nord de la Chine

L'irrigation intensive dans le nord de la Chine a considérablement réduit le débit des rivières dans le bassin de la rivière Hai et fortement épuisé les nappes phréatiques soumises au pompage d'irrigation. Le gouvernement chinois a souligné qu'une action urgente visant à restaurer les ressources en eau et à réduire la surexploitation devait être lancée. Le domaine d'intervention sur les eaux internationales du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) a appuyé un important effort de restauration mettant l'accent sur trois processus clés de la gestion intégrée de l'eau : (1) formation de comités nationaux interministériels ; (2) analyse de l'état de la rivière ou du bassin aquifère, des différentes utilisations de l'eau dans le secteur, des conflits et des projections futures ; et (3) élaboration d'un programme stratégique de réformes et d'investissements politiques, juridiques et institutionnels, grâce à des processus participatifs dans tous les secteurs pour équilibrer les utilisations concurrentes, négocier des compromis et former des partenariats tournés vers l'action.[198]

Le projet de GIRE du bassin du fleuve Hai, né il y a sept ans, a posé la première pierre de l'élaboration de réformes sur la gestion de l'eau et des terres pour améliorer la qualité de l'eau dans la rivière et des aquifères et réduire l'utilisation de l'eau dans l'irrigation. Il a introduit des tarifs pour l'eau d'irrigation plus élevés ; un nouveau système de droits/d'allocations autour des ressources en eau, en vertu de la loi chinoise, en se basant sur des estimations liées à l'évapotranspiration (ET) plutôt que sur les quantités prélevées standards ; l'utilisation de la technologie satellitaire pour justifier la délivrance et l'attribution des ressources en eau ; ainsi que d'autres technologies d'irrigation économisant l'eau dans le but de rétablir la sécurité alimentaire et la préservation de l'eau mais aussi d'atteindre certains objectifs environnementaux dans le bassin. Le projet comprenait des mesures d'amélioration de la qualité de l'eau, le renforcement des capacités pour la commission des ressources en eau du bassin et l'utilisation de cartes de paiement individuelles pour les agriculteurs. Les quantités allouées pour le pompage ont été limitées pour garantir des économies d'eau : une fois la réserve d'un individu épuisée, il ne pouvait plus pomper d'eau. Les données satellitaires sur l'ET (sur une échelle de 30 par 30 mètres) ont été utilisées en association avec des modèles de simulation pour définir les quantités réduites à allouer aux associations de consommateurs d'eau dirigées par les agriculteurs et ainsi assigner des quotas à plus de 100 000 foyers d'agriculteurs. Les services du vulgarisation ont également aidé à recommander des pratiques d'économie d'eau à la ferme, de gestion (par exemple, le paillage, les modes de culture, la technologie du goutte à goutte) et de plantation de cultures alternatives pour augmenter les revenus des agriculteurs. Sept ans après, le revenu par habitant a augmenté de 193 %, l'utilisation rationnelle de l'eau a augmenté de 82 % et la consommation a diminué de 27 %. Ces économies d'eau ont contribué à stabiliser le niveau des nappes et à rendre de plus grandes quantités d'eau disponibles pour le fonctionnement de l'écosystème.

Le succès de ce projet a encouragé le gouvernement chinois à mettre en place un système d'accès et d'allocation de l'eau par télédétection pour toutes les nouvelles allocations d'eau. Cela a conduit à l'instauration du système d'allocation basé sur l'ET à l'ensemble du bassin du lac de Tarim et à un projet ultérieur financé par le FEM/la Banque Mondiale/la Chine pour l'ensemble du système du bassin Hai. Le projet a aussi permis la signature d'accords formels entre des ministères qui ne travaillaient jamais ensemble et l'établissement d'un système de gestion des connaissances établi pour la commission du bassin revitalisé. Enfin, la définition d'objectifs conformes à la politique du FEM a démontré qu'il était important d'évaluer et de mesurer les progrès réalisés dans le temps.

des pénuries d'eau durant les périodes de sécheresse et des pics d'inondation à la saison des pluies.[206]

3. Modèles de négociation et de tarification qui constituent des incitations perverses

L'accaparement des terres ou l'acquisition de terres à grande échelle pour les exportations agricoles sont des sujets abordés au chapitre 5, mais une question importante y étant liée réside dans la valeur d'exportation des produits agricoles sous forme « d'eau virtuelle » (quantité d'eau cachée requise pour cultiver les aliments exportés) . L'accaparement des terres sous-entend également l'accaparement de l'eau[207] lorsque, de plus en plus souvent, les acquisitions de terres à grande échelle par des investisseurs étrangers leur garantissent aussi un approvisionnement en eau.

L'accaparement des terres sous-entend également l'accaparement de l'eau lorsque, de plus en plus souvent, les acquisitions de terres à grande échelle par des investisseurs étrangers leur garantissent aussi un approvisionnement en eau.

Le commerce virtuel de l'eau se développe, et ce solde commercial particulier entre les pays évolue au fil du temps. La Chine, qui était jusqu'à récemment un exportateur net d'eau virtuelle en lien avec le

commerce de produits d'origine animale et végétale non comestibles utilisés pour la production, est maintenant le plus grand importateur virtuel d'eau au monde pour ces mêmes produits.[208] Cela peut entraîner la migration des petits agriculteurs, la dégradation accélérée des terres et la surexploitation des ressources en eau, ainsi que la naissance de conflits au niveau des sources ou des aquifères, en particulier lorsque des institutions affaiblies ne peuvent ou ne veulent pas réglementer l'utilisation de l'eau. Le contrôle des agences de gestion de l'eau est un problème de plus en plus clivant et d'ordre politique.[209] Les politiques de tarification, telles que celles mises en place pour réduire les prix des denrées alimentaires proposées aux consommateurs par les principales sociétés de distribution de produits alimentaires, réduisent les bénéfices des agriculteurs et encouragent une utilisation non durable, comme l'irrigation intensive.

4. Changements démographiques et urbanisation

La croissance des populations est considérée comme une menace pour les ressources en eau.[210] Si le nombre d'habitants est important, les mouvements démographiques le sont tout autant, qu'ils soient progressifs, par l'urbanisation et la migration économique, ou soudains, avec les déplacements de la population à la suite d'une catastrophe, d'une guerre ou d'un conflit interne. L'urbanisation est maintenant un phénomène mondial. Près de la moitié de la population urbaine vit dans des centres relativement petits de moins de 500 000 habitants, alors que près d'une personne sur huit vit dans l'une des 28 mégapoles de plus de 10 millions d'habitants. Jusqu'à récemment, la plupart des plus grandes villes du monde se trouvaient dans le Nord, mais aujourd'hui, elles sont de plus en plus concentrées dans le Sud. Les centres urbains les plus dynamiques sont les villes de taille moyenne et les villes de moins d'un million d'habitants situées en Asie et en Afrique.[211]

L'Afrique fournit un exemple frappant de l'urbanisation et de son impact sur l'eau. En 1960, seules 11 villes d'Afrique comptaient plus d'un demi-million d'habitants, et seulement cinq en Afrique subsaharienne, qui était majoritairement rurale. En 2015, on dénombrait 84 villes dans le sud du Sahara, dont des mégapoles comme Lagos avec ses plus de 13 millions d'habitants. D'ici 2030, on en comptera probablement plus de 140.[212] Les estimations actuelles indiquent que la nouvelle population urbaine en Afrique augmentera de plus de 300 millions d'habitants entre 2000 et 2030, soit le double de la population rurale.[213] Les zones humides et les bassins versants fournissent à la fois des services d'approvisionnement (p. ex., nourriture, eau, matières premières) et des services de régulation (p. ex., contrôle des inondations, stabilisation du climat) aux populations urbaines. Mais dans toute l'Afrique, l'urbanisation pèse sur ces deux types de services, soit directement à travers l'expansion urbaine qui draine les zones humides pour assurer le logement de la population, soit parce que la densité de population accentue l'impact sur les ressources naturelles, libère plus de polluants, introduit des espèces envahissantes et augmente la consommation d'eau pour l'agriculture, l'industrie et l'usage domestique.

Encadré 8.5 : L'eau et les villes africaines

L'expansion urbaine et périurbaine rapide observée dans de nombreuses villes africaines exerce une pression sur les ressources en eau environnantes, au moment même où leurs services écosystémiques sont plus que jamais indispensables. Par exemple, l'expansion urbaine rapide et le secteur horticole qui connait un remarquable essor menacent la zone humide de la Lutembe Bay autour de Kampala en Ouganda. La Lutembe Bay, qui est un site Ramsar, est presque complètement coupée du reste du lac Victoria par une île peuplée de papyrus. Les marécages filtrent le limon, les sédiments et les excès de nutriments provenant du ruissellement de surface, des eaux usées et des déchets industriels. Mais la zone humide est en train d'être rapidement réduite par l'agriculture et l'horticulture ; une entreprise d'horticulture s'est même implantée illégalement en 2013.[214] De même, les zones humides autour de Harare représentent des sources d'eau pour la moitié de la population du pays, elles assurent le remplissage des nappes phréatiques, le filtrage et l'épuration naturelle de l'eau (réduisant ainsi les coûts de purification), préviennent l'envasement et les inondations et représentent un piège à CO2 important. Les zones humides sont aussi considérées comme un sanctuaire essentiel pour les oiseaux, autre site d'intérêt pour la convention Ramsar. Cependant, l'hydrologie est perturbée à cause des modifications intervenues dans l'utilisation des terres, de l'agriculture informelle, de la pollution apportée par les engrais et de l'utilisation intensive de forages commerciaux, ce qui a entraîné une chute moyenne de la nappe phréatique de 15 à 30 mètres au cours des 15 dernières années. Renforcer les capacités et la sensibilisation des urbanistes et du personnel gouvernemental vis-à-vis de la protection des zones humides est donc une priorité absolue.[215]

5. Changement climatique

Le changement climatique rapide augmente presque tous les aspects décrits ci-dessus de l'insécurité autour de l'approvisionnement en eau. Les changements climatiques auront de multiples impacts sur l'approvisionnement en eau, comme la fonte des glaciers et des calottes, les perturbations de l'enneigement et des précipitations, la fluctuation accrue des conditions météorologiques et l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes. Les pénuries d'eau dans le monde devraient augmenter.[216] Le groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique en est arrivé à la conclusion (des preuves solides autour d'un accord profond) que le changement climatique risque de réduire les ressources renouvelables des eaux de surface et souterraines dans la plupart des régions subtropicales sèches. À l'inverse, dans les latitudes plus élevées, la disponibilité en eau devrait augmenter. La composition, la structure et la fonction de nombreuses zones humides changeront également, et de nombreuses espèces d'eau douce seront gravement menacés d'extinction.[217]

La maximisation de la sécurité de l'approvisionnement de l'eau n'est ni une solution technique simple ni la responsabilité d'un seul secteur.

UNE APPROCHE INTÉGRÉE POUR LA SÉCURITÉ DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU AU NIVEAU MONDIAL

De nouvelles approches pour gérer les ressources en eau sont nécessaires de toute urgence.[218] Le 6ème objectif de développement durable (ODD) portant sur l'eau et son assainissement met l'accent sur l'amélioration de la qualité de l'eau (objectif 6.3) et sur la protection et la restauration des écosystèmes liés à l'eau (objectif 6.6). L'amélioration de la gestion de l'eau est également une composante essentielle de l'objectif 2, notamment avec la sécurité alimentaire et de l'objectif 15 qui prévoit de lutter contre la désertification, d'arrêter et d'inverser la dégradation des terres et d'empêcher la perte de la biodiversité. Une telle approche se concentre sur l'efficacité du système, plutôt que sur la productivité des secteurs isolés, en réduisant les compromis et en générant des avantages supplémentaires qui l'emportent sur les coûts de transaction associés à une intégration plus forte dans tous les secteurs. De tels gains accéléreront les avancées vers un développement durable et encourageront les gouvernements, le secteur privé et la société civile à renforcer la sécurité de l'approvisionnement en eau.[219]

La maximisation de la sécurité de l'approvisionnement de l'eau n'est ni une solution technique simple ni la responsabilité d'un seul secteur. Cela nécessite toute une gamme de réponses concernant la fourniture et la qualité de l'eau pour les usages anthopiques ; la gestion des ressources terrestres, en particulier les sols ; la protection et, le cas échéant, la restauration des zones humides et des bassins hydrographiques ; et la réglementation des flux d'eau ainsi que leur disponibilité à long terme.[220] Les éléments clés d'une approche intégrée de la gestion de l'eau comprennent :

- **Gestion des ressources en eau grâce à une gestion durable des sols, en particulier dans l'agriculture**
- **Protection et restauration des écosystèmes naturels pour les biens et services liés à l'eau**
- **Création de villes durables**
- **Réforme des politiques au niveau local, national et international**

Les écosystèmes liés à l'eau ne peuvent être gérés isolément puisque les bassins hydrographiques ou les bassins versants se connectent sur de vastes zones et le cycle mondial de l'eau fonctionne finalement comme un système unique. La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)[221] favorise le développement et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées afin de maximiser le bien-être économique et social de manière équitable sans compromettre le fonctionnement et la durabilité de nos paysages exploités.

Gestion des ressources en eau grâce à une gestion durable des terres

L'irrigation entraîne des coûts élevés en eau, mais aussi des bienfaits importants en termes de production végétale. Aux États-Unis, 7,5 % des cultures et des pâturages sont irrigués, produisant 40 % de la valeur agricole et représentant 80 à 90 % de la consommation d'eau.[222] L'optimisation de l'efficacité des technologies d'irrigation et de leur application est clairement une priorité axée sur tous les aspects de l'irrigation depuis l'approvisionnement et la distribution jusqu'à la mise en oeuvre sur le terrain. Même de petites augmentations de la productivité des cultures dans les zones aux précipitations limitées auraient des implications importantes pour la productivité alimentaire globale et la disponibilité de l'eau.[223] En outre, il existe un certain nombre de pratiques attestées et rentables en matière de gestion des terres qui réduisent le gaspillage et préservent les ressources d'eau dans l'agriculture tout en offrant des avantages supplémentaires pour l'environnement et la productivité à long terme (voir tableau 8.2). Le fait que ces pratiques ne soient pas mise en oeuvre plus largement est dû à certains facteurs, tels que le manque de capacités, d'investissements ou de

Tableau 8.2 : Quelques exemples de mesures pour économiser l'eau en agriculture

Technique	Détails
Améliorer la disponibilité/préservation de l'eau	
Infrastructures améliorées	Les canaux et les fossés d'irrigation mal construits non étanches induisent une perte d'eau et de rentabilité certaine. Les tuyaux sont plus efficaces mais aussi plus coûteux.
Amélioration des systèmes d'irrigation	Les réseaux de canaux terrestres sont les moins efficaces, suivis par les canaux exutoires, les conduits sous pression, les tuyaux d'irrigation, les systèmes d'arrosage, les gicleurs microjet et l'irrigation par goutte à goutte : avec des rendements allant de 40 % à 80-90 %.[224]
Agriculture de conservation	Associe un labour minimal avec des cultures de protection et en rotation pour réduire l'évaporation, le ruissellement et l'érosion[225]
Agriculture biologique	Système de production qui repose sur les processus écologiques, la biodiversité et les cycles adaptés aux conditions locales, en évitant l'utilisation d'engrais synthétiques, de pesticides, d'OGM, d'hormones de croissance et d'antibiotiques ;[226, 227] certains affirment que cela maximise le recyclage des nutriments et augmente la matière organique du sol, améliorant ainsi sa capacité à retenir l'eau[228]
Éco-agriculture	Elle met l'accent sur la restauration de la biodiversité et des services écosystémiques, et encourage le développement de ces services lorsqu'ils sont liés à l'eau
Agroforesterie	Consiste à mélanger des arbres et des cultures terrestres pour conserver l'eau en réduisant l'évaporation et la transpiration ; Au Kenya, l'évaporation du sol a été réduite de 35 % en moyenne.[229]
Gestion participative de l'irrigation	La coopération des utilisateurs peut accroître l'efficacité de leur gestion. En Nouvelle-Zélande, des économies de coûts de 65 % ont été réalisées grâce à ce type de contrôle local.[230]
Collecte d'eau de pluie	Différentes options existent, des canaux aux bassins ouverts, en passant par les gouttières filmées ou le stockage souterrain.[231]
Labour selon les courbes de niveau, système de rétention et cultures en terrasses	Traditionnellement utilisés pour réduire l'érosion des sols et augmenter l'efficacité de la rétention d'eau.[232]
Paillage	Réduit le gaspillage d'eau et améliore les rendements ; le recours à cette méthode est souvent entravé par le manque de matériel de paillage (p. ex., à cause de la combustion ou du pâturage des chaumes après la récolte).[233]
Variétés de semis précoces et diminution de la consommation d'eau	Trois facteurs sont importants : réduction du gaspillage ; augmentation de la biomasse pour la quantité d'eau donnée ; et répartition de la biomasse dans la production récoltée.[234] Par exemple, les variétés semées plus tôt peuvent pousser au cours de périodes plus fraîches dans l'année, durant lesquelles il y a moins d'évaporation.
Les pompes	Peuvent pomper des eaux souterraines et maintenir un certain niveau de productivité toute l'année dans les pays marqués par une saison humide et sèche. Les pompes à pédales constituent un système simple et bon marché.[235]
Réduction de l'utilisation de l'eau	L'arrosage peut parfois être réduit à certaines périodes sans réduire pour autant les rendements des cultures.[236]
Les SMS de prévisions météorologiques	L'utilisation de téléphones mobiles pour partager des SMS sur les prévisions météorologiques pour les périodes de plantation a permis d'optimiser l'utilisation de l'eau dans les pays du bassin du Niger.[237]
Alertes radio au sujet de fortes pluies ou de sécheresse	Au Sénégal, 915 chefs de village et de nombreuses stations de radio se sont inscrits pour assurer un service couvrant jusqu'à la moitié de la population du pays.[238]
Utilisation d'eau grise et d'effluent d'eaux usées	Les eaux usées séparées des effluents industriels peuvent être utilisées pour l'irrigation ; les eaux usées de 100 000 personnes irriguent environ 1 000 ha grâce à l'utilisation de systèmes efficaces.[239]
Dispositifs de détection d'humidité des sols et des plantes/Simulation de la croissance des cultures par ordinateur	Leur utilisation a réduit le gaspillage d'eau de 20 % en Afrique du Sud.[240] Les technologies, comme celles utilisées dans l'agriculture de précision, offrent d'énormes gains d'efficacité mais nécessitent des investissements ; moins de 10 % des exploitations américaines utilisent ces méthodes[241]
Réduction des besoins en eau	
Choix des cultures	Éviter les cultures trop gourmandes en eau dans les régions arides ou semi-arides. Choisir des cultures vivaces qui retiennent les sols et stimulent les systèmes de mycorhizes.
Agriculture intelligente face au climat	Les nombreuses techniques et technologies mentionnées ci-dessus mettent l'accent sur des pratiques résilientes au climat et localement appropriées.
Soutien aux agriculteurs	
Assurance fondée sur des indices météorologiques	Les banques peuvent fournir des services financiers pour l'agriculture intelligente pour le développement de chaînes de valeur agricoles résilientes au climat..[242]

Encadré 8.6 : Collecte de l'eau de pluie au Brésil[244]

Le nord-est du Brésil est une région semi-aride, caractérisée par un grave manque d'eau et des sécheresses qui contribuent au sous-développement de la région. Le programme de collecte d'eau pluviale P1MC a été lancé par des groupes de la société civile dans la région, ciblant les familles rurales sans source d'eau potable à proximité de leur domicile. En décembre 2007, 228 541 familles avaient été mobilisées ; 221 514 systèmes de collecte d'eau de pluie avaient été construits et 5 848 maçons avaient été formés dans le cadre du programme. L'objectif du programme P1MC était de construire un million de systèmes de collecte d'eau de pluie pour permettre à un million de familles d'accéder individuellement à de l'eau potable. Ce programme a profité aux femmes en particulier, en réduisant leur travail quotidien d'extraction de l'eau. En 2012, le Brésil a connu l'une des sécheresses les plus sévères jamais enregistrées, provoquant des pertes majeures de récoltes et de bétail et réduisant plusieurs réservoirs à un niveau critique. La sécheresse a attiré l'attention des différents décideurs, experts, médias internationaux et locaux, ainsi que de la population. Le Brésil a dès lors souhaité passer d'une gestion réactive des crises à des approches proactives axées sur les risques.

subventions, les règlements et autres incitations perverses qui découragent une utilisation plus efficace des ressources. Dans certains pays, les coutumes culturelles et religieuses jouent également un rôle clé, par exemple par une réticence à utiliser de l'eau grise.

Diverses sortes de zones protégées couvrent déjà environ 20,7 % des lacs et des zones humides restant dans le monde.

La GIRE est une aspiration depuis des décennies, mais a souvent échoué dans la pratique en raison des intérêts sectoriels ancrés, des barrières politiques et des incapacités à engendrer un sentiment de responsabilité collective. Les gestionnaires de l'eau se sont concentrés traditionnellement sur la gestion de l'eau de manière isolée, alors qu'une bonne gestion de l'eau dépend en grande partie de la gestion durable des terres.[243] Le concept plus large de la gestion intégrée des ressources en terres et en eau continue de gagner du terrain, comme on peut le voir dans le nombre d'applications en constante augmentation à travers le monde.

L'un des nombreux exemples qu'on peut trouver en Chine porte sur le projet de GIRE du bassin du fleuve Hai, véritable précurseur dans l'élaboration de réformes de gestion de l'eau et des terres pour améliorer la qualité de l'eau dans la rivière et les aquifères, et réduire l'utilisation de l'eau destinée à l'irrigation.[245] Le projet démontre certains des éléments essentiels d'un programme national de conservation de l'eau, y compris une organisation centrale reposant sur des lois complètes sur l'eau ; la planification de l'utilisation des terres et des eaux au niveau des bassins versants ; les cadres décisionnels basés sur l'offre et la demande en eau à long terme ; les services adéquats de recherche, de démonstration et de vulgarisation ; un système de gestion de la demande ; un contrôle de qualité des équipements ; la promotion des associations d'utilisateurs d'eau ; et, le cas échéant, la réforme agraire et le crédit agricole pour l'irrigation.

Protection et restauration des écosystèmes naturels

Assurer la fourniture future de services écosystémiques en eau douce nécessite l'adoption d'une série de stratégies coordonnées, fonctionnant au niveau du bassin hydrographique ou du bassin versant, et intégrées à la gestion des écosystèmes terrestres environnants. Bien que les investissements dans l'infrastructure nécessaire soient un élément essentiel de cette gestion,[246] « les infrastructures naturelles »[247] ou « les infrastructures vertes »[248] devront jouer un rôle de plus en plus central[249] en assurant la sécurité de l'approvisionnement en eau à long terme pour les

Encadré 8.7 : Utilisation des eaux usées

L'utilisation intelligente des eaux usées pour irriguer des cultures aidera à résoudre les problèmes de pénurie d'eau dans le secteur agricole. Au moment où nous devons produire plus de nourriture pour alimenter une population de plus en plus importante, les eaux usées peuvent être utilisées par les agriculteurs, soit directement via les systèmes d'irrigation, soit indirectement en réalimentant les aquifères. En Tunisie, les eaux usées sont largement utilisées dans les projets agroforestiers, en soutenant à la fois la production du bois et les efforts de lutte contre la désertification. Dans le centre du Mexique, les eaux usées municipales ont longtemps été utilisées pour irriguer les cultures. Dans le passé, les processus écologiques ont permis de réduire les risques pour la santé. Plus récemment, les restrictions sur les cultures (certaines cultures peuvent être irriguées en toute sécurité avec des eaux usées, tandis que d'autres ne le peuvent pas) et des installations de traitement des eaux ont été ajoutées au système. Bien gérées, les eaux usées peuvent être utilisées en toute sécurité pour soutenir la production végétale, soit directement via les systèmes d'irrigation, soit indirectement en réalimentant les aquifères, mais cela nécessite une gestion respectueuse des risques pour la santé, par un traitement adéquat ou une utilisation appropriée.

© Will Parson/Chesapeake Bay Program

sociétés humaines grâce à la préservation des écosystèmes naturels d'eau douce.[250]Par exemple, les bassins hydrographiques forestiers et certaines zones humides peuvent fournir de l'eau plus propre que les autres écosystèmes.[251] Certaines forêts, telles que les forêts de nuages dans les montagnes,[252] augmentent le débit net hors du bassin versant. Les forêts et les zones humides fournissent également d'importants mécanismes de contrôle des inondations en offrant un espace assez grand pour que les inondations se dissipent en toute sécurité et en bloquant leur débit ainsi que d'autres services écosystémiques importants.[253]

La reconnaissance de ces multiples rôles signifie que les écosystèmes naturels ne sont plus considérés comme improductifs et inutiles autrement que pour l'exploitation humaine, et qu'ils sont perçus comme des éléments essentiels au maintien de la santé et des moyens de subsistance des populations. Cette reconnaissance est la première étape pour sécuriser l'accès à l'eau à long terme.

Les zones protégées ont donc un rôle central à jouer dans les approches de gestion durable à l'échelle des bassins versants,[254] bien que la protection spécifique des écosystèmes d'eau douce ait souvent été négligée à cet égard.[255] Diverses sortes de zones protégées couvrent déjà environ 20,7 % des lacs et des zones humides restant dans le monde,[256]elles aident à façonner les politiques générales régissant les ressources en eau et à mettre en oeuvre des opérations de réhabilitation et de restauration à grande échelle. Ces zones jouent un rôle vital dans le maintien des services liés à l'eau en protégeant les voies d'écoulement naturel, en repoussant les espèces non indigènes et en participant parfois à la conservation de bassin entier.[257] Les inclure de manière plus consciente et centralisée dans les approches de la GIRE est un élément important qui manque encore à de nombreuses stratégies nationales relatives aux ressources en eau.

Encadré 8.8 : Protéger les forêts naturelles pour contrôler les inondations

Les précipitations irrégulières en Argentine provoquent à la fois des inondations et des sécheresses. Dans tous les scénarios de changement climatique, ces conditions météorologiques se poursuivront et seront même observées de plus en plus fréquemment. À l'heure actuelle, environ un quart du pays est inondé à plusieurs reprises, en particulier au nord-est, qui abrite trois grands fleuves (Paraná, Paraguay et Uruguay), des plaines étendues en faible altitude et plus de la moitié de la population humaine. Un programme de protection contre les inondations a prévu des activités rentables pour les zones économiques et écologiques les plus importantes et une stratégie de lutte contre les inondations récurrentes : maintenance des installations de défense, systèmes d'alerte précoce contre les inondations, directives environnementales pour les zones inondables et plans d'urgence en cas d'inondation. De plus, de vastes zones de forêts naturelles ont été protégées dans le cadre du système de défense contre les inondations, ce qui offre une alternative relativement peu coûteuse à une infrastructure onéreuse avec en plus, la conservation d'une grande biodiversité.[258]

De nombreux exemples significatifs d'intégration de la GIRE existent déjà, ce qui montre l'avantage d'une approche conjointe à la conservation et au développement durable. Des villes comme New York[259] ou Melbourne[260] ont trouvé plus rentable de protéger et de restaurer les forêts en tant que fournisseurs d'eau propre plutôt que d'investir dans de nouvelles usines de purification. Les forêts de nuages et les tourbières de haute montagne (paramos) situées dans les zones protégées autour de Quito et de Tegucigalpa fournissent un approvisionnement en eau de grande qualité pour ces deux importantes villes d'Amérique latine.[261] Un nombre croissant de pays s'appuient sur des zones protégées stratégiquement situées dans le cadre de leurs politiques de réduction des risques de catastrophe.[262] La protection et la restauration des zones humides peuvent aider à réduire les émissions de CO2 et ainsi atténuer les effets du changement climatique, en particulier les énormes réservoirs de carbone dans les tourbières actuellement menacées.[263]

Avec la volonté politique et la participation des parties prenantes, la création et la gestion des zones protégées constituent des outils politiques ou réglementaires relativement simples permettant de maintenir l'infrastructure naturelle, qui s'accompagnent généralement d'une protection juridique applicable pour assurer une certaine

Encadré 8.9 : Services d'approvisionnement en eau des zones protégées

La majeure partie de la population mondiale vit en aval des bassins hydrographiques forestiers.[265] Ceux-ci offrent de l'eau de meilleure qualité que les bassins hydrographiques, qui ont tendance à avoir moins de couverture végétale (ce qui signifie plus d'érosion et de sédimentation du sol) et qui sont aussi susceptibles d'être davantage pollués (p. ex., avec des pesticides et des engrais ou des déchets toxiques).[266] Les avantages que fournissent les forêts ont été reconnus depuis de nombreuses années par des entreprises qui ont besoin d'eau de qualité : par exemple, la société d'eau minérale Perrier-Vittel subventionne la restauration de forêts dans le bassin versant où elle collecte de l'eau en France.[267] Un tiers (33 sur 105) des plus grandes villes du monde font venir une proportion importante de leur eau potable directement de zones protégées. Au moins cinq autres villes de ce groupe obtiennent de l'eau provenant de sources issues de bassins versants éloignés incluant des zones protégées ; et au moins huit autres obtiennent leur eau de forêts gérées de sorte à donner la priorité à leurs fonctions écologiques d'approvisionnement en eau.[268] Beaucoup de zones protégées à l'origine pour leurs valeurs touristiques ou fauniques sont aujourd'hui également considérées comme essentielles pour leurs ressources en eau. Le parc national de Yosemite, en Californie, aux États-Unis, par exemple, fournit de l'eau de haute qualité à San Francisco ; les forêts de nuages du parc national de La Tigra au Honduras fournissent plus de 40 % de l'approvisionnement annuel en eau de la capitale Tegucigalpa, et environ 80 % de la population de Quito, soit 1,5 million d'habitants, reçoivent de l'eau potable issue de deux zones protégées.[26]

Encadré 8.10 : Gestion de l'eau en Afrique du Sud

L'Afrique du Sud est l'un des 30 pays les plus secs au monde. Alors que la consommation moyenne d'eau par habitant par jour est de 173 litres, les Sud-Africains utilisent en moyenne 62 % d'eau en plus.[277] Afin d'aligner la demande et l'offre, l'Afrique du Sud a réalisé des progrès considérables au cours des dernières décennies pour accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau. En 1994, le gouvernement a d'abord publié un livre blanc sur la politique d'utilisation de l'eau et de son assainissement, qui a abouti à la loi sur les services de l'eau en 1997. Puis la Loi nationale sur l'eau (National Water Act) n°36 de 1998 est venue favoriser une approche intégrée et décentralisée de la gestion des ressources en eau, qui soulignait l'importance de l'efficacité économique, de la protection de l'environnement, de l'équité et de l'autonomisation des personnes.[278]

L'Afrique du Sud est l'un des rares pays au monde qui a inscrit le droit fondamental d'avoir un accès suffisant aux ressources en eau dans sa constitution, affirmant que « Tout le monde a le droit d'avoir accès à (...) de la nourriture et de l'eau en quantités suffisantes ». S'appuyant sur ces fondements, les deux lois sont complémentaires et fournissent un cadre pour une gestion durable des ressources en eau tout en améliorant et en élargissant la prestation des services. La loi nationale sur l'eau exige des gestionnaires de l'eau et des décideurs d'avoir une compréhension approfondie des valeurs économiques de l'eau et de ses diverses utilisations, ainsi que des systèmes d'informations qui intègrent les dimensions hydrologiques, économiques et sociales de l'offre et de la demande d'eau dans le cadre d'un système intégré de gestion des ressources en eau (SIGRE).[279]

pérennité, avec l'emploi, les capacités et les stratégies de gestion.[264] Cependant, la responsabilité des principaux cadres juridiques pour la conservation est généralement séparée de celle de la défense civile et des autres services, ce lien manque donc souvent dans la pratique.

Les formules de paiement pour les services écosystémiques (PSE) aident à inciter de façon économique les personnes vivant dans des zones d'approvisionnement en eau à préserver ces écosystèmes naturels en bonne santé. Une approche possible consiste à recueillir les frais d'utilisation auprès des personnes et des entreprises bénéficiant de l'eau potable pour indemniser les prestations de captage fournies par la gestion des aires protégées ou par les communautés locales. Ces systèmes de PSE sont de plus en plus considérés comme des modèles économiques viables, à condition de disposer d'une source identifiable de compensation (ceux qui sont prêts à payer), de coûts de transaction faibles, d'une bonne diffusion des informations et d'une méthode de répartition des avantages équitable parmi les individus.[270]

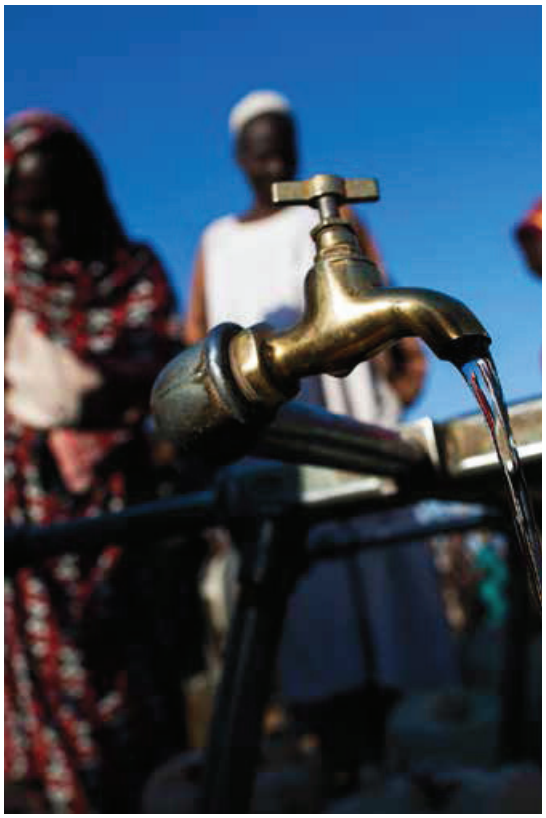
Les mesures de protection seules ne suffisent plus. Le monde a déjà perdu tant de zones humides et des efforts majeurs sont nécessaires pour restaurer les cours naturels des fleuves, les lacs et les étangs, les réservoirs d'eau souterraine et les zones humides actives. La restauration est donc un autre élément important de la gestion des eaux douces pour leurs services écosystémiques.[271] La restauration ne signifie pas seulement repousser les zones d'eau ou enlever les barrages redondants. Par exemple, la restauration

des rivières comprend « le rétablissement des processus physiques naturels (p. ex., la variation du débit et du mouvement des sédiments), de ses caractéristiques (p. ex., la taille des sédiments et la forme de la rivière) et des habitats physiques d'un système fluvial (y compris les zones submergées, les berges et les plaines d'inondation). »[272] Des principes similaires peuvent être appliqués dans la restauration des zones côtières pour endiguer le phénomène d'érosion, impliquant une approche de « construction avec la nature », en utilisant des barrages perméables pour réduire l'énergie des vagues et stimuler la sédimentation.[273]

Une combinaison d'initiatives de restauration planifiée et de protection judicieuse des bassins hydrographiques peut ainsi assurer une plus grande salubrité de l'eau pour les consommateurs en aval.

Vers des villes durables

Bien que les villes présentent des défis particuliers pour l'approvisionnement et la gestion de l'eau, elles offrent également une gamme de solutions innovantes en reliant les personnes, en transférant les savoir-faire et en soutenant des groupes d'entreprises menant à bien des actions similaires. Des autorités locales tournées vers l'avenir peuvent encourager des améliorations rapides. Les systèmes de transport urbain efficaces, les énergies renouvelables et le contrôle des eaux usées peuvent tous réduire la consommation et le gaspillage d'eau, tandis que les campagnes d'informations, associées à des politiques de tarification responsables, peuvent sensibiliser davantage les consommateurs sur la valeur de l'eau.



© Albert González Farran

Les villes durables dépendent d'écosystèmes bien gérés. Leur dégradation peut influer sur les habitants de la ville. Les personnes vivant dans le port de Mombasa, au Kenya, comptent sur l'eau des collines de Chyulu, à une centaine de kilomètres. Bien que le Chyulu soit une zone protégée, sa gestion catastrophique autorise la construction d'installations et l'abattage illégal d'arbres, menaçant ainsi la qualité de l'eau urbaine.[274] Il est souvent judicieux pour les autorités municipales d'investir dans la gestion des écosystèmes, mais il faut que soit en place une équipe de fonctionnaires perspicaces pour établir les connexions et obtenir les fonds nécessaires. Les politiques de tarification qui encouragent une utilisation plus réfléchie de l'eau font partie d'une solution universelle consistant à s'attaquer aux pénuries urbaines, bien que l'efficacité relative de ces politiques, par rapport aux mesures techniques et aux campagnes de sensibilisation du public, reste non concluante.[275] Les étapes vers une planification urbaine plus durable sont décrites au chapitre 11.

Réforme des politiques

Beaucoup des changements identifiés ci-dessus ne peuvent être atteints que s'ils sont soutenus par des politiques et des lois fortes au niveau national, dans un contexte d'accords internationaux et une reconnaissance mondiale de la nécessité de gérer l'eau plus attentivement pour éviter les crises. Des approches proactives sont nécessaires, mettant l'accent sur la préservation de l'infrastructure naturelle pour générer de multiples avantages, augmentant la résilience des systèmes hydrologiques face aux changements environnementaux et laissant un accès plus équitable aux approvisionnements en eau propres. La modification du comportement des consommateurs est également un facteur essentiel de ce processus, et les tentatives de le faire évoluer peuvent s'appuyer sur des campagnes de sensibilisation du public, des changements technologiques, des réglementations et des politiques de tarification. Bien que tous ces processus soient utiles dans différents contextes, il existe encore un débat sur leur efficacité relative.[276] Les stratégies ne doivent pas seulement être élaborées, elles doivent être communiquées efficacement aux parties prenantes du gouvernement, de l'industrie et des communautés afin de bien faire comprendre l'importance d'assurer un approvisionnement en eau sûr et durable.

CONCLUSION

L'accès sécurisé à l'eau est compromis, notamment à cause de la combinaison de modèles agricoles inadaptés, des changements démographiques rapides et des effets déstabilisants du changement climatique. Des mauvais choix individuels et nationaux aggravent encore la situation. Les pays et les communautés souffrent à la fois de pénuries et d'excès. La perte de zones humides, la baisse de la qualité de l'eau et les changements spectaculaires dans les régimes d'écoulement des grands systèmes hydrologiques entraînent un effondrement de la biodiversité en eau douce et la perte de services écosystémiques essentiels.

L'amélioration de la protection de l'eau nécessite une approche intégrée et intersectorielle qui s'appuie sur les liens entre les pratiques de gestion des terres et la santé des systèmes hydrologiques. En résumé, voilà certaines des étapes les plus critiques : utilisation plus efficace de l'eau dans l'agriculture, l'industrie, l'énergie et les ménages ; réglementation et législation, y compris la tarification et l'allocation des ressources, pour encourager les efforts ; protection et restauration accrues pour améliorer le fonctionnement global de l'écosystème dans le bassin hydrographique. Le savoir-faire technique pour aider à résoudre la crise de l'eau est largement connu ; la prochaine étape consiste, cette fois, à appliquer ces leçons apprises à l'échelle souhaitée.

RÉFÉRENCES

1 McIntosh, R.J. 2005. Ancient Middle Niger: Urbanism and the self-organizing landscape. Cambridge University Press, Cambridge.

2 Cunliffe, B. 2016. By Steppe, Desert and Ocean: The birth of Eurasia. Oxford University Press, Oxford.

3 Ponting, C. 1992. A Green History of the World, Penguin, Middlesex.

4 Jacobson, T. and Adams, R.M. 1958. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. Science **128**: 1251-1258.

5 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. (ST/ESA/SER.A/366).

6 De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., et al. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services **1**: 50-61.

7 Russi D., ten Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., et al. 2013. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. IEEP, London and Brussels; Ramsar Secretariat, Gland.

8 McCartney, M., Rebelo, L.M., Senaratna Sellamuttu, S., and de Silva, S. 2010. Wetlands, agriculture and poverty reduction. Research Report 137. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

9 Lopez Gunn, E. and Ramón Llamas, M. 2008. Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis? Natural Resources Forum **32**: 228-238.

10 World Economic Forum. 2016. Global Risks 2016. 11th Edition. World Economic Forum within the framework of The Global Competitiveness and Benchmarking Network.

11 http://www.iwra.org/congress/2015/ accessed October 8, 2016.

12 UN World Water Assessment Programme. 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.

13 http://www.unwater.org/sdgs/a-dedicated-water-goal/en/ accessed January 1, 2017.

14 UN Water. 2013. Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief. United Nations University, Hamilton, Canada.

15 UN Water. 2015. http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml, accessed October 5, 2016.

16 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances **2** (2) e1500323.

17 Brauman, K.A., Richter, B.D., Postel, S., Malsy, M., and Flörke, M. 2016. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments. Elementa: Science of the Anthropocene **4**: 000083.

18 World Water Council. 2000. World Water Vision, Earthscan, London.

19 Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture, Ecosystems and Environment **82**: 105-119.

20 Bogardi, J.J., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., et al. 2012. Water security for a planet under pressure: Interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. Current Opinion in Environmental Sustainability **4**: 35-43.

21 Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M, et al. 2013. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: Role of environmental flow requirements. Current Opinion in Environmental Sustainability **5**: 551-558.

22 Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell Fetzer, S.E.I., Bennett, E.M., et al. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science **347.** DOI: 10.1126/science.1259855.

23 Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., and Payne, R. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. World Resources Institute, Washington, DC.

24 Gassert, F., Reig, P., Luo, T., and Maddocks, A. 2013. Aqueduct country and river basin rankings: A weighted aggregation of spatially distinct hydrological indicators. World Resources Institute, Washington, DC.

25 Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), e1500323.

26 Ibid.

27 Micklin, P. 2016. The future Aral Sea: hope and despair. Environmental Earth Sciences **75**: 844. doi:10.1007/s12665-016-5614-5

28 Lemoalle, J., Bader, J.C., Leblanc, M., and Sedick, A. 2012. Recent changes in Lake Chad: Observations, simulations and management options (1973–2011). Global and Planetary Change **80-81**: 247-254.

29 Besada, H. and Werner, K. 2015. An assessment of the effects of Africa's water crisis on food security and management, International Journal of Water Resources Development **31**: 1, 120-133.

30 Joosten, H., Tapio-Bistöm, M-L., and Tol, S. (eds.). 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. FAO, Rome.

31 Poff, N.L., Allan, J.D., Palmer, M.A., Hart, D.D., Richter, B.D., et al. 2003. River flows and water wars: Emerging science for environmental decision making. Biological Sciences Faculty Publications. Paper 233. University of Montana.

32 Wolf, A.T., Yoffe, S.B., and Giordano, M. 2003. International waters: Identifying basins at risk. Water Policy **5**: 29-60.

33 de Villiers, M. 1999. Water Wars: Is the World's Water Running Out? London: Weidenfeld & Nicolson.

34 Shiva, V. 2002. Water Wars. South End Press.

35 Katz, D. 2011. Hydro-political hyperbole: Examining incentives for overemphasizing the risks of water wars. Global Environmental Politics **11** (1): 12-35.

36 Busby, J. 2017. Water and U.S. National Security. Discussion paper. Council on Foreign Relations, Washington, DC.

37 Wolf, A.T., Kramer, A., Carius, A., and Dabelko, G.D. 2005. Managing water conflict and cooperation. In: World Resources Institute. State of the World 2005: Redefining global security. WRI, Washington, DC.

38 Barbut, M. and Alexander, S. 2015. Land degradation as a security threat amplifier: The new global frontier. In: Chabey, I., Frick, M., and Helgeson, J. (eds.) Land Restoration: Reclaiming landscapes for a sustainable future. Elsevier.

39 Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis Nature Climate Change **4**: 945-948.

40 Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., and van Beek, L.P.H. 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature **488**: 197-200.

41 Famiglietti, J.S. 2014. Op. cit.

42 Gleeson, T., et al. 2012. Op. cit.

43 Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., et al. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory, Hydrology and Earth System Sciences **14**: 1863-1880, doi:10.5194/hess-14-1863

44 Siebert, S., et al. 2010. Op. cit.

45 MacDonald, A.M., Bonsor, H.C., Dochartaigh, B.É.Ó., and Taylor, R.G. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environmental Research Letters **7** (2): 24009-24015.

46 Rosegrant, M.W., Ringler, C., and Zhu, T. 2009. Water for agriculture: Maintaining food security under growing scarcity. Annual Review of Environmental Resources **24**: 205-222.

47 FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing systems at risk. FAO and Earthscan, Rome and London.

48 UNEP. 2012. Sustainable Land Use for the 21st Century. United Nations Environment Programme, Nairobi.

49 WWF. Undated. Thirsty Crops. WWF International, Gland, Switzerland.

50 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Water footprint of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management **21** (1): 35-48.

51 Eshel, G., Shepon, A., Makov, T., and Milo, R. 2014. Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States, Proceedings of the National Academy of Sciences **111** (33): 11996-12001.

52 Biancalani R. and Avagyan, A. (eds). 2014. Towards climate responsible peatlands management. Mitigation of climate change in agriculture. Series 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

53 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Op. Cit.

54 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC, USA.

55 http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/en/ accessed November 17, 2016.

56 Wojciechowska-Shibuya, M. 2016. The USSGAB Journey. United Nations, New York.

57 Satterthwaite, D. 2016. Missing the Millennium Development Goal targets for water and sanitation in urban areas. Environment and Urbanisation **28**: 99-118.

58 Onda, K., LoBuglio, J., and Bartram, J. 2012. Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. International Journal of Environmental Research and Public Health **9**: 880-894.

59 Bain, R., Cronk, R., Hossain, R., Bonjour, S., Onda, K., et al. 2014. Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. Tropical Medicine and International Health **19** (8): 917-927.

60 Zingore, S., Mutegi, J., Agesa, B., Tamene, L., and Kihara, J. 2015. Soil degradation in sub-Saharan Africa and crop production options for soil rehabilitation. Better Crops **99** (1): 24-26.

61 UNICEF and World Health Organization. 2015. Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment. Geneva.

62 UN Habitat. 2003. Water and Sanitation in the World's Cities: Local action for global goals. Earthscan, London.

63 Liu, L., Oza, S., Hogan, D., Perin, J., Rudan, I., et al. 2015. Global, regional and national causes of child mortality in 2000-2013, with projections to inform post-2015 priorities: An updated systematic analysis. The Lancet **385**: 430-440.

64 Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., et al. 2013. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

65 Erisman, J.W., Galloway, J.N., Seitzinger, S., Bleeker, A., Dise, N.B., et al. 2013. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. Philosophical Transactions of the Royal Society B 368 (1621): DOI: 10.1098/rstb.2013.0116.

66 Pretty, J.N. and Conway, G.R. 1988. The Blue Baby Syndrome and Nitrogen Fertilizers: A high risk in the tropics? Gatekeeper Series number 5. International Institute for Environment and Development, London.

67 Smith, V.H., Joye, S.B., and Howarth, R.W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography **51** (2): 351-355.

68 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.J. 2015. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. Environmental Science and Technology **49**: 12860-12868.

69 Sharpley, A.N. 2015. The phosphorus paradox: Productive agricultural and water quality. Journal of Environmental Indicators **9**: 3-4.

70 Köhler, H.R. and Triebskorn, R. 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? Science **341**: 759-765.

71 Beketov, M., Kefford, B.J., Schäfer, R.B., and Liess, M. 2013. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (27): 11039-11043.

72 Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J. (eds.) 2008. Climate Change and Water, Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP, Geneva.

73 Dore, M.H.I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? Environment International **31** (8): 1167-1181.

74 Huq, S., Kovats, S., Reid, H., and Satterthwaite, D. 2007. Editorial: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization **19**: 3.

75 Güneralp, B., Güneralp, I., and Liu, Y. 2015. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. Global Environmental Change **31**: 217-225.

76 van Aalst, M. K. 2006. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, **30**:1, 5-18.

77 Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., McLean, L., and Campbell, J. 2008. Unjust waters: Climate change, flooding and the urban poor in Africa. Environment and Urbanisation **20** (1): 187-205.

78 UN Water. (Undated). Water Hazard Risks: A priority for integrated water resource management. UN Water Policy Brief number 1. United Nations, Geneva.

79 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2016. The Human Cost of Weather-Related Disasters, CRED and UNISDR, Brussels and Geneva.

80 Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K.R., Kirschbaum, D.B., Gourley, J., et al. 2010. A digitized global flood inventory (1998–2008): Compilation and preliminary results. Natural Hazards Journal **55**: 405-422.

81 International Commission for the Protection of the Danube River. 2008. The Analysis of the Danube Floods 2006: An in depth analysis of the floods on the Danube and its main tributaries in 2006. Vienna.

82 EM-DAT. 2016. Disasters in Numbers 2015. International Disasters Database, Brussels.

83 Sheffield, J., Andreadis, K.M., Wood, E.F., and Lettenmaier, D.P. 2008. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events. Journal of Climate **22**: 1962-1981.

84 Dai, A. 2011. Drought under global warming: A review. WIREs Climate Change **2**: 45-65.

85 Checchi, F. and Robinson, W.C. 2013. Mortality among populations of southern and central Somalia affected by severe food insecurity and famine during 2010-2012. A study commissioned by FAO/FSNAU and FEWS NET. Rome.

86 EM-DAT. The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED, The Ripple Effect: A fresh approach to reducing drought impacts and building resilience. Bonn, accessed January 13, 2014 and quoted in UNCCD, 2016.

87 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371-385.

88 OCHA 2016. El Nino: Overview of impacts, projected humanitarian needs and response, OCHA, March.

89 El Nino and La Nina years and intensities. The Oceanic Nino index. http://ggweather.com/enso/oni.htm.

90 Wanders, N. and Wada, Y. 2014. Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. Journal of Hydrology **526**: 208-220.

91 Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P., Soares, W.R, et al. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and human adaptation. American Journal of Climate Change **2**: 87-96.

92 World Bank. 2016. The Cost of Fire. An economic analysis of Indonesia's 2015 fire crisis. World Bank, Washingon, DC.

93 Koplitz,S.N., Mickley, L.J., Marlier, M.E., Buonocore, J.J., Kim, P.S., et al. 2016. Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September–October 2015: Demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure. Environmental Research Letters **11** (9): doi:10.1088/1748-9326/11/9/094023.

94 van Dijk, A.I.J.M., Beck, H.E., Crosbie, R.S., de Jeu, R.A.M., Liu, Y.Y., et al. 2013. The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. Water Resources Research **49**: 1040-1057.

95 Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International **10** (3):111-120.

96 Carrão, H., Naumann, G., and 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 **39**: 108-124.

97 World Commission on Dams. 2000. Dams and Development: A new framework for decision-making. Earthscan, London.

98 Pearce, F. 1992. The Dammed: Rivers, dams and the coming water crisis. The Bodley Head, London.

99 Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J., Tydecks, L., and Tockner, K. 2014. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences 77 (1): 161-170.

100 Wetlands International, 2016. New Irrigation Plans Threaten Flood Production Inner Niger Delta. Wetlands International news release. September 21, 2016. https://www.wetlands.org/news/new-irrigation-plans-threaten-food-production-inner-niger-delta/

101 Macedo, M.N., Coe, M.T., DeFries, R., Uriarte, M., Brando, P.M., et al. 2013. Land-use-driven stream warming in southeastern Amazonia. Philosophical Transactions of the Royal Society London B **368**: 20120153.

102 Pearce, F. 1992. Op. cit.

103 Douglas, E.M., Wood, S., Sebastian, K., Vörösmarty, C.V., Chomitz, K.M, et al. 2007. Policy implications of a pan-tropic assessment of the simultaneous hydrological and biodiversity impacts of deforestation. Water Resources Management **21**: 211-232.

104 Guérin, F., Abril, G. Richard G., Burban B., Reynouard C., et al. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. Hydrology and Land Surface Studies. Geophysical Research Letters **33** (21): doi:10.1029/2006GL027929.

105 Charity, S., Dudley, N., Oliveira, D., and Stolton, S. 2016. Living Amazon Report 2016. WWF Living Amazon Initiative, Brasilia, Brazil.

106 Tundisi, J.G., Goldemberg, J. Matsumura-Tundisi, T., and A.C.F. Saraiva. 2014. How many more dams in the Amazon? Energy Policy 74: 703-708.

107 Canas, C.M. and Pine, W.E. 2011. Documentation of the temporal and spatial patterns of Pimelodidae catfish spawning and larvae dispersion in the Madre de Dios (Peru): Insights for conservation in the Andean-Amazon headwaters. River Research and Applications **27**: 602-611.

108 Castello, L. and Macedo, M.N. 2015. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. Global Change Biology **22** (3): 990-1007.

109 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters **6** (4): 217-229.

110 Macedo, M. and Castello, L. 2015. State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health. WWF Living Amazon Initiative, Brasília, Brazil.

111 Castello, L., et al. 2013. Op. cit.

112 Bernard, E., Penna, L.A.O., and E. Araújo. 2014. Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil. Conservation Biology **28** (2): 1523-1739.

113 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

114 http://wwf.panda.org/wwf_news/?264030/Large-scale-degradation-of-Amazonian-freshwater-ecosystems

115 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. PLoS ONE **7**: e35126.

116 Claudia M., Stickler, C.M., Coe, M.T., Costa, M.H., Nepstad, D.C., et al. 2013. Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales, Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (23): 9601-9606.

117 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

118 Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., and Zhang, L. 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. Water Resources Research **43** (3) doi:10.1029/2006WR005486.

119 Scanlon, et al. 2007. Op. cit.

120 Umali, D. L. 1993. Irrigation-induced Salinity: A growing problem for development and the environment**.** World Bank Technical Paper number 215. Washington, DC.

121 Pitman, M.G. and Läuchli, A. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Läuchli, A. and Lüttge, U. (eds.) Salinity: Environment – Plants – Molecules. Kluwer Academic Publishers, pp. 3-20.

122 Schwabe, K.A., Kan, I., and Knapp, K.C. 2006. Drainwater management for salinity mitigation in irrigated agriculture. American Journal of Agricultural Economics **88**: 133-149.

123 Umali, D. L. 1993. Op. cit.

124 Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., et al. (eds.) 2008. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.

125 Born, v. d., G.J., Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B., Bemmel, van, B., et al. 2016. Dalende bodems, stijgende kosten. Den Haag.

126 Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., et al. 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences **7**: 1505-1514.

127 Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W.A., Lu, X.X., et al. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. Biogeosciences **9**: 1053-1071.

128 Hooijer, A., Verminnnen, R., Mawdsley, N., Page, S., Mulyadi, D., et al. 2015. Assessment of impacts of plantation drainage on the Kampar Peninsula peatland, Riau. Deltares report 1207384 to Wetlands International, CCLUA and Norad.

129 Douglas, E.M., et al. 2007. Op. cit.

130 Pagiola, S. 1999. The Global Environmental Benefits of Land Degradation Control on Agricultural Land. World Bank Environment Paper Number 16. The World Bank, Washington, DC.

131 Ramsar Secretariat. 2002. Climate change and wetlands: Impacts, adaptation and mitigation. COP8 Information Paper, DOC 11.

132 Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B., and Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. Wetlands **26**: 889-916.

133 Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., et al. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. Frontiers in Ecology and the Environment **9**: 552-560.

134 Nahlik, A.M. and Fennessey, M.S. 2016. Carbon storage in US wetlands. Nature Communications. DOI: 10.1038/ncomms13835.

135 Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G.R., et al. 2015. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. Nature Geoscience **8**: Pages:11-14 Year published:. DOI:doi:10.1038/ngeo2325

136 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88** (1): 25-35.

137 Ramsar Secretariat, Ramsar Scientific & Technical Review Panel and Biodiversity Convention Secretariat 2007. Water, wetlands, biodiversity and climate change: Report on outcomes of an expert meeting, March 23-24, 2007, Gland, Switzerland.

138 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88**: 25-35.

139 Parish, F., et al. (eds.) 2007. Op. cit.

140 Pena, N. 2008. Including peatlands in post-2012 climate agreements: Options and rationales. Report commissioned by Wetlands International from Joanneum Research, Austria.

141 Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen, C.T.A., et al. 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field, C.B. and Raupach, M.R. (eds.) The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World. Island Press, Washington, D.C., USA, pp. 17-44.

142 Verwer, C., van der Meer, P., and Nabuurs, G. 2008. Review of carbon flux estimates and other greenhouse gas emissions from oil palm cultivation on tropical peatlands – identifying gaps in knowledge, Alterra report 1741. Alterra, Wageningen, Netherlands.

143 Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., et al. 2009. The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation, A UNEP rapid response assessment, United Nations Environment Programme, UNEP WCMC, Cambridge, UK.

144 Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H., and Page, S. 2006. PEAT-CO2, Assessment of CO_2 emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943.

145 Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chapin III, F.S., Chernov, Y., Christensen, T.R., et al. 2005. Arctic Tundra and Polar Desert Ecosystems. In ACIA, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge UK.

146 Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D.W., et al. 2007. Climate change and trace gases, Philosophical Transactions of the Royal Society **365**: 1925-1954.

147 Erwin, K. 2009. Wetlands and global climate change: The role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and Management **17**: 71-84.

148 Farrell, C. and Doyle, G. 2003. Rehabilitation of industrial cutaway Atlantic blanket bog in County Mayo, North-West Ireland. Wetlands Ecology and Management **11**: 21. doi:10.1023/A:1022097203946.

149 Wetlands International 2008. Advice to UNFCCC Parties for COP14 and associated meetings, December 2008, Wetlands International, Wageningen, Netherlands.

150 http://thebluecarboninitiative.org/ accessed February 17, 2017.

151 Mauerhofer, V. 2011. A bottom-up 'Convention-Check' to improve top-down global protected area governance. Land Use Policy **28**: 877-886.

152 Davidson, N. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research **65**: 934-941.

153 Revenga, C. and Yura, K. 2003. Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosystems. Technical Series number 11. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

154 Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

155 Dixon, M.J.R., Loh, J., Davidson, N.C., Beltrame, C., Freeman, R., et al. 2016. Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends Index. Biological Conservation **193**: 27-35.

156 Ramsar Convention Secretariat. 2016. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th edition. (previously The Ramsar Convention Manual). Gland, Switzerland.

157 Garcia-Moreno, J., Harrison, I., Dudgeon, D., Clausnitzer, V., Darwall, W., et al. 2014. Sustaining freshwater biodiversity in the Anthropocene. In: Bogardi, J., Bhadurim, A., Leentvaar, J. and Marx, S. (eds.) The Global Water System in the Anthropocene: Challenges for Science and Governance. Springer, Switzerland, pp. 247-270.

158 Strayer, D.L. and Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society **29**: 344-358.

159 Collen, B., Whitton, F., Dyer, E.E., Baillie, J.E.M., Cumberlidge, N., et al. 2014. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. Global Ecology and Biogeography **23**: 40-51.

160 Stuart, S.N, Hoffman, J.S., Chanson N.A., Cox, et al. 2008. Threatened Amphibians of the World. Lynx Editions, Barcelona.

161 Barthem, R. and Goulding, M. 1997. The catfish connection: Ecology, migration and conservation of Amazon predators. Columbia University Press, New York.

162 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Op. cit.

163 Petrere, M. Jr., Borges Barthem, R., Agudelo Córdoba, E., and Corrales Gómez, B. 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (Brachyplatystoma filamentosum Lichtenstein). Reviews in Fish Biology and Fisheries **14**: 403-414.

164 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters 6: 217-229.

165 Revenga, C., Murray, S., Abramovitz, J., and Hammond, A. 1998. Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability. World Resources Institute, Washington, DC.

166 Darwall, W., Smith, K., Allen, D., Seddon, M., Mc Gregor Reid, G., et al. 2008. Freshwater biodiversity – a hidden resource under threat. In: Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., and Stuart, S.N. (eds.) The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland.

167 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

168 Modified from De Groot, R.S., Stuip, M.A.M., Finlayson, C.M., and Davidson, N. 2006. Valuing wetlands: Guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services, Ramsar Technical Report No. 3/CBD Technical Series No. 27. Ramsar and the CBD, Gland, Switzerland and Montreal, Canada.

194 Llamas, J. 1987. Risk of drought and future water requirements on a regional scale. International Journal of Water Resources Development **3**: 260-265.

195 Micklin, P. 2016. Op. cit.

196 Gao, H., Bohn, T.H., Podest, E., McDonald, K.C., and Lettenmaier, D.P. 2011. On the causes of the shrinking of Lake Chad. Environmental Research Letters **6** (3).

197 Huxley, J. 1943. TVA: Adventure in Planning. The Architectural Press, London.

198 Duda, A.M., Menzies, S., Severin, C., Hume, A., Sundstrom, K.R., et al. 2012. Contributing to Global Security: GEF Action on Water, Environment, and Livelihoods. Global Environment Facility, Washington, DC.

199 WWF. 2013. Soy and Biodiversity Loss: Expanding markets, declining ecosystems and what we can do about it. WWF International, Gland, Switzerland.

200 FAO. 2007. Future Expansion of Soybean 2005-2014. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.

201 Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, June 24-26, 2009, Rome on "How to Feed the World in 2050." Food and Agriculture Organization of the United Nations, Economic and Social Development Department, Rome, Italy.

202 Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2006. Op. cit.

203 Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., and Krusche, A.V. 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment **159**: 19-28.

204 Pengue, W. 2005. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt. Bulletin of Science, Technology and Society **25**: 314-322.

205 Gheewala, S.H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S.R., et al. 2014. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. Water **6** (6): 1698-1718.

206 Biancalani R. and Avagyan, A. 2014. Op. cit.

207 Mehta, L., Veldwisch, G.J., and Franco, J. 2012. Introduction to the Special Issue: Water grabbing? Focus on the (re) appropriation of finite water resources. Water Alternatives **5** (2): 193-207.

208 Carr, J.A., D'Odorco, P., Laio, F., and Ridolfi, L. 2013. Recent history and geography of virtual water trade. PLoS One **8** (2): e55825.

209 Barlow, M. and Clarke, T. 2002. Blue Gold: The battle against corporate theft of the world's water. Earthscan, London.

210 De Sherbinin, A. and Dompka, V. (eds.) 1998. Water and Population Dynamics: Case studies and policy implications. American Association for the Advancement of Science, New York.

211 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. Op. cit.

212 Satterthwaite, D. 2014. Cities of more than 500,000 people, Visualisation. International Institute for Environment and Development, London. http://www.iied.org/cities-interactive-data-visual

213 Currie, E.L.S., Fernández, J.F., Kim, J. and Kaviti Musango, J. 2015. Towards urban resource flow estimates in data scarce environments: The case of African cities. Journal of Environmental Protection **6**: 1066-1083.

214 Information from the Ramsar Secretariat.

215 http://www.monavalevlei.com/, accessed February 1, 2015.

216 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371. doi:10.1007/s10584-013-0853-x.

217 IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.

218 Gleik, P. 2003. Global freshwater resources: Soft path solutions for the 21st century, Science **302**: 1524-1528.

219 Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

220 Van Beek, E. and Lincklaen Arriens, W. 2014. Water Security: Putting the concept into practice. TEC Background Papers number 20. Global Water Partnership, Stockholm.

221 Grigg, N.S. 2008. Integrated water resources management: Balancing views and improving practice. Water International **33** (3): 279-292. DOI:10.1080/02508060802272820.

222 Schaible, G.D. and Aillery, M.P. 2012. Water Conservation in Irrigated Agriculture: Trends and Challenges in the Face of Emerging Demands, EIB-99, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.

223 Brauman, K.A., Siebert, S., and Foley, J.A. 2013. Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security – a global analysis. Environmental Research Letters **8**: doi:10.1088/1748-9326/8/2/024030.

243 Bossio, D., Geheb, K., and Critchley, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. Agricultural Water Management **97**: 536-542.

244 Noguiera, D. 2008. http://genderandwater.org/en/gwa-products/knowledge-on-gender-and-water/articles-in-source-bulletin/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women-1/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women.

245 Song, X., Ravesteijn, W., Frostell, B., and Wennersten, R. 2010. Managing water resources for sustainable development: The case of integrated river basin management in China. Water Science and Technology, **61**: 499-506.

246 Tortajada, C. 2014. Water infrastructure as an essential element for human development. International Journal for Water Resources Development **30** (1): 8-19.

247 Krchnak, K.M., Smith, D.M., and Deutz, A. 2011. Investing in Natural Infrastructure to advance water-energy-food security. IUCN and The Nature Conservancy, Gland, Switzerland and Washington, DC.

248 Benedict, M.A. and McMahon, E.T. 2006. Green Infrastructure: Smart cities for the 21st century. Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series. The Conservation Foundation, Washington, DC.

249 Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R., and Gunn, J. 2013. Natural Infrastructure: Investing in forested landscapes for source water protection in the United States. World Resources Institute, Washington, DC.

250 Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature **467**: Pages:

555-561.

251 Aylward, B. 2000. Economic Analysis of Land-use Change in a Watershed Context presented at a UNESCO Symposium on Forest-Water-People in the Humid Tropics, Kuala Lumpur, Malaysia, July 31 –August 4, 2000.

252 Bruijnzeel, L.A. and Hamilton, L.S. 2000. Decision Time for Cloud Forests, IHP Humid Tropics Programme Series no. 13, IHP-UNESCO, Paris.

253 Turner, R.K., Georgiou, S., and Fisher, B. (eds.) 2008. Valuing Ecosystem Services: The case of multifunctional wetlands, Earthscan, Oxford.

254 Naughton-Treves, L., Buck Holland, M., and Brandon, K. 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. Annual Review of Environmental Resources **30**: 219-252.

255 Abell, R., Allan, J.D., and Lehner, B. 2007. Unlocking the potential of protected areas for freshwaters. Biological Conservation **134**: 48-63.

256 Juffe-Bignoli, D., Harrison, I., Butchart, S.H.M., Flitcroft, R., Hermoso, V., et al. 2016. Achieving Aichi Biodiversity Target 11 to improve the performance of protected areas and conserve freshwater biodiversity. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **26** (Supplement 1): 133-151.

257 Saunders, D.L., Meeuwig, J.J., and Vincent, A.C.J. 2002. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. Conservation Biology **16** (1): 30-41.

258 World Bank. 2010. Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based approaches to climate change, The World Bank, Washington, DC.

259 Collins, B.R. and Russell, E.W.B. (eds.) 1988. Protecting the New Jersey Pinelands: A New Direction in Land Use Management, New Brunswick and London: Rutgers University Press.

260 Peel M., Watson, F., Vertessy, R., Lau, A., Watson, I., et al. 2000. Predicting the Water Yield Impacts of Forest Disturbance in the Maroondah and Thomson Catchments using the Macaque Model Technical Report, Report 00/14, December 2000, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology and Melbourne Water, Australia.

261 Gorenflo, L.J. and Warner, D.B. 2016. Integrating biodiversity conservation and water development: In search of long-term solutions. WIRES Water **3** (3): 301-311.

262 Dudley, N., Buyck, C., Furuta, N., Pedrot, C., Renaud, F., et al. 2015. Protected Areas as Tools for Disaster Risk Reduction. A handbook for practitioners. IUCN and Ministry of Environment Japan, Gland, Switzerland and Tokyo.

263 Joosten, H., Tapio-Biström, M.L., and Tol, S. (eds.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use: Second edition. FAO and Wetlands International, Rome.

264 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

265 Reid, W.V. 2001. Capturing the value of ecosystem services to protect biodiversity. In: Chichilenisky, G., Daily, G.C., Ehrlich, P., Heal, G., and Miller, J.S. (eds.) Managing human-dominated ecosystems. Monographs in Systematic Botany 84, Missouri Botanical Garden Press, St Louis.

266 Stolton, S. and Dudley, N. (eds.) 2010. Arguments for Protected Areas. Earthscan, London.

267 Johnson, N., White, A., and Perrot-Maître, D. 2002. Developing markets for water services from forests: Issues and lessons for innovators. Forest Trends, USA.

268 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

269 Hamilton, L. 2008. Forests and water, FAO Forestry paper 155. FAO, Rome.

270 Stavins, R.N. 2002. Experience with market-based environmental policy instruments, Nota di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, No. 52.2002.

271 McDonald, R.I. and Shemie, D. 2014. Urban Water Blueprint: Mapping conservation solutions to the global water challenge. The Nature Conservancy, Washington, DC.

272 Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., et al. 2016. River Restoration and Biodiversity: Nature-Based Solutions for Restoring the Rivers of the UK and Republic of Ireland. IUCN National Committee for the UK.

273 van Wesenbeeck, B.K., Balke T., van Eijk P., Tonneijck, F., Siry, H.Y., et al. 2015. Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. Ocean and Coastal Management **116**: 466-469.

274 Information from a protected area management effectiveness tracking tool assessment, carried out for the Zoological Society of London, September 2015.

275 Saurí, D. 2013. Water conservation: Theory and evidence in urban areas of the developed world. Annual Review of Environment and Resources **38**: 227-248.

276 Saurí, D. 2013. Op. cit.

277 Government on water scarcity and drought 2015. South African Government. http://www.gov.za/speeches/government-water-scarcity-and-drought-13-nov-2015-0000

278 Hassan R. and Crafford J. 2006. Environmental and economic accounts for water in South Africa. Edward Elgar Publishing, UK. 114-168.

279 McKinney, D., Cai, X., Rosegrant, M., Ringler, C., and Scott, C. 1999. Modelling water resources management at the basin level: Review and future directions. International Water Management Institute, Sri Lanka.