

Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050

LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION



Chapitre 5 : Eau

Chapitre 5

Eau

Auteurs :

Xavier Leflaive, Maria Witmer (PBL), Roberto Martin-Hurtado, Marloes Bakker (PBL), Tom Kram (PBL), Lex Bouwman (PBL), Hans Visser (PBL), Arno Bouwman (PBL), Henk Hilderink (PBL), Kayoung Kim

Partout sur la planète, les besoins quotidiens en eau suscitent une concurrence toujours plus vive entre les villes, les agriculteurs, les industries, les fournisseurs d'énergie et les écosystèmes. En l'absence de gestion adaptée, le prix à payer peut être élevé – non seulement du point de vue financier, mais aussi en termes d'occasions manquées, d'atteintes à la santé et de dommages causés à l'environnement. Faute de profondes réformes et d'améliorations notables de la gestion de l'eau, d'ici à 2050 la situation risque fort d'empirer, les ressources disponibles devenant plus incertaines. Ce chapitre récapitule les pressions qui se font le plus fortement sentir sur l'eau et les principales mesures prises en conséquence. Il commence par évoquer les difficultés et évolutions actuelles, et la manière dont elles pourraient orienter les perspectives de l'eau en 2050. Sont passés en revue les problèmes de rivalité (entre l'irrigation, l'industrie, la production d'électricité, les villes et l'environnement) et de surexploitation (des eaux de surface et souterraines), le stress hydrique, les catastrophes liées à l'eau (inondations, par exemple), la pollution de l'eau (éléments nutritifs – azote et phosphore – provenant des terres agricoles ou transportés par les eaux usées, notamment) et les rejets dans les mers, ainsi que le manque d'accès aux services d'eau et d'assainissement (au sens des Objectifs du Millénaire pour le développement – OMD). S'ajoute un examen des instruments de gestion en vigueur (tels que les droits sur l'eau et la tarification) et des possibilités qui s'offrent d'améliorer les perspectives de l'eau par des mesures plus ambitieuses. Le chapitre aborde les nouveaux enjeux de la politique de l'eau. Une attention particulière est accordée au rôle déterminant de l'eau dans la croissance verte; aux relations entre l'eau, l'énergie et l'alimentation; aux mécanismes d'allocation de l'eau qui préservent des écosystèmes sains ; et aux sources d'eau alternatives (réutilisation). Dans chaque cas, la gouvernance, les instruments économiques, l'investissement et la mise en place d'infrastructures ont leur importance. Tous participent aux réformes de la politique de l'eau, dans les pays de l'OCDE et à l'échelle mondiale.

Messages clés

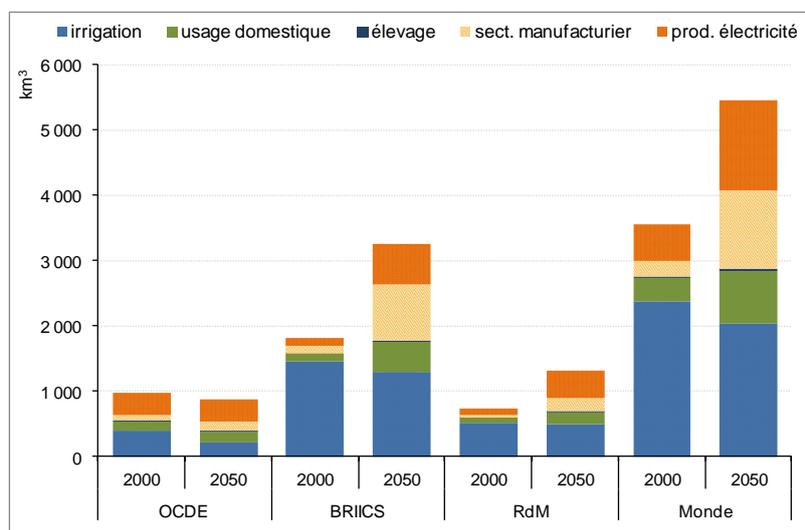
L'accès à une eau propre est fondamental pour le bien-être humain. La nécessité de gérer l'eau pour répondre à ce besoin constitue un enjeu de taille, et de plus en plus important, dans maintes régions du monde. L'eau n'est pas suffisamment abondante et sa qualité laisse à désirer pour beaucoup d'habitants de la planète, qui pâtissent en outre des perturbations liées aux inondations et sécheresses. Des conséquences s'ensuivent pour la santé, l'environnement et le développement économique. **Faute de profondes réformes et d'améliorations notables des méthodes et techniques de gestion de l'eau, d'ici à 2050 la situation risque fort d'empirer, d'autant qu'il faut prévoir une intensification de la concurrence pour l'accès aux ressources en eau et une incertitude grandissante quant aux quantités disponibles.**

Grandes tendances et projections

Aspects quantitatifs de l'eau

- **ROUGE** : D'après le *scénario de référence* des *Perspectives*, à l'horizon 2050, 3.9 milliards de personnes, soit plus de 40 % de la population mondiale, vivront sans doute dans des bassins hydrographiques soumis à un **stress hydrique élevé**.
- **ORANGE** : À l'échelle planétaire, les projections indiquent une progression de **la demande d'eau** de 55 % entre 2000 et 2050. L'augmentation viendra principalement des activités manufacturières (+400 %), de la production d'électricité (+140 %) et des usages domestiques (+130 %). Compte tenu de la concurrence entre ces demandes, il ne sera guère possible d'accroître les volumes destinés à l'irrigation.

Demande d'eau mondiale : scénario de référence, 2000 et 2050



Note : Ce graphique se rapporte uniquement à la mesure de la demande d'eau « bleue » (voir encadré 5.1) et ne tient pas compte de l'agriculture pluviale.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement* ; résultats du modèle IMAGE.

- **ROUGE** : Dans beaucoup de régions du monde, les **eaux souterraines** sont soumises à une exploitation que le renouvellement des nappes ne parvient pas à compenser, et s'avèrent en outre de plus en plus polluées. Le taux d'épuisement des eaux souterraines a plus que doublé entre 1960 et 2000, et dépasse désormais 280 km³ par an.

Aspects qualitatifs de l'eau

- **VERT** : La poursuite des gains d'efficience en agriculture et des investissements consacrés au traitement des eaux usées dans le monde développé devrait contribuer à stabiliser et à restaurer la **qualité des eaux de surface et souterraines dans la plupart des pays de l'OCDE** d'ici à 2050.
- **ROUGE** : **En dehors de la zone OCDE, la qualité des eaux de surface** va vraisemblablement se dégrader durant les décennies à venir, compte tenu des apports d'éléments nutritifs d'origine agricole et faute de traitement adéquat des eaux usées. D'où une multiplication de phénomènes tels que l'eutrophisation, l'appauvrissement de la biodiversité et les maladies. Par exemple, le nombre de lacs menacés par la prolifération d'algues nocives augmentera de 20 % au cours de la première moitié du siècle.
- **ORANGE** : **Les micropolluants** (médicaments, cosmétiques, produits de nettoyage et résidus de biocides) constituent un nouveau sujet de préoccupation dans de nombreux pays.

Approvisionnement en eau et assainissement

- **VERT** : Le nombre de personnes ayant **accès à une source d'approvisionnement améliorée** a augmenté de 1.8 milliard entre 1990 et 2008, progression surtout liée au groupe des BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud), et plus particulièrement à la Chine.
- **ROUGE** : Plus de 240 millions de personnes (vivant majoritairement dans des zones rurales) n'auront vraisemblablement pas **accès à une source d'approvisionnement améliorée** en 2050. L'Objectif du Millénaire pour le développement relatif à un approvisionnement en eau plus satisfaisant a peu de chances d'être atteint en Afrique subsaharienne. À l'échelle mondiale, le nombre de citoyens dépourvus d'un tel accès a augmenté entre 1990 et 2008, car l'urbanisation progresse plus vite que les raccordements aux infrastructures de l'eau. Le défi est d'autant plus grand que l'accès à une source d'approvisionnement *améliorée* ne se traduit pas toujours par l'accès à une eau *potable*.
- **ROUGE** : Les projections indiquent que près de 1.4 milliard de personnes, vivant pour la plupart dans des pays en développement, seront encore privées d'**accès à un assainissement de base** en 2050. L'Objectif du Millénaire pour le développement relatif à l'assainissement ne sera pas atteint.

Catastrophes liées à l'eau

- **ORANGE** : Actuellement, le nombre de **victimes des inondations, sécheresses et autres catastrophes** liées à l'eau oscille chaque année entre 100 et 200 millions (personnes touchées ou tuées) ; près des deux tiers sont imputables aux inondations. D'ici à 2050, le nombre de personnes **exposées aux inondations** devrait passer de 1.2 milliard à 1.6 milliard (pratiquement 20 % de la population mondiale). On prévoit que la valeur économique des biens exposés

avoisinera 45 000 milliards USD à l'horizon 2050, soit une augmentation de plus de 340 % par rapport à 2010.

Options et impératifs d'action

Inciter à un usage efficient de l'eau

- **Améliorer la tarification de l'eau** afin qu'elle rende compte du caractère limité de la ressource et incite à l'utiliser de façon plus rationnelle dans tous les secteurs (agricole, industriel, domestique, etc.) ; parer aux conséquences sociales, moyennant des structures tarifaires ou des mesures ciblées judicieusement conçues. Recourir à toute une panoplie d'instruments pour freiner la demande d'eau et faire en sorte que d'autres sources d'approvisionnement (réutilisation d'eaux usées après traitement, par exemple) soient compétitives.
- **Mettre en œuvre des mécanismes d'allocation de l'eau flexibles** (notamment en associant réforme des droits sur l'eau et politiques de tarification).

Améliorer la qualité de l'eau

- **Mieux coordonner le développement de la collecte des eaux usées (réseaux d'égouts) et l'épuration** pour éviter le rejet d'eaux usées sans traitement. Des techniques novatrices et des modèles économiques inédits s'imposent ; le secteur privé est un acteur de premier plan à cet égard.
- Améliorer et accroître l'utilisation d'équipements et de techniques adaptées pour traiter les eaux usées et gérer efficacement les flux d'éléments nutritifs et les ruissellements d'origine agricole. **Promouvoir les activités de R-D** pour accélérer et diffuser l'innovation dans les pays développés et en développement. Renforcer les capacités dans les économies visées (en axant essentiellement les efforts sur les agriculteurs), par le biais de la formation et de l'éducation.

Investir dans des infrastructures vertes

- **Investir dans de nouvelles capacités de stockage de l'eau** compatibles avec d'autres objectifs de la politique environnementale (par exemple la préservation des services écosystémiques, des forêts ou de la biodiversité).
- **Réduire l'impact et la fréquence des catastrophes liées à l'eau** en rétablissant les fonctions écosystémiques des plaines alluviales et des zones humides, en veillant à l'hydromorphologie et en supprimant les incitations en faveur de l'installation ou de l'investissement dans des zones à risque.
- **Accélérer le déploiement des infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement** dans les pays en développement. Mettre à l'étude des solutions novatrices, nécessitant moins d'eau, d'énergie ou de capitaux. Les pays membres peuvent financer partiellement le processus, par exemple en orientant une plus grande proportion de l'aide publique dans ce sens, et le secteur privé a aussi un rôle essentiel à jouer.

Veiller à la cohérence des politiques

- **Améliorer la gouvernance de l'eau** de manière à en assurer la cohérence avec d'autres domaines d'intervention tels que l'énergie, l'agriculture et l'aménagement urbain. Solliciter la participation de tous les acteurs concernés (administrations aux différents niveaux, groupes d'utilisateurs de l'eau, entreprises privées). Faire en sorte que la gouvernance permette d'éviter les conflits autour des eaux transfrontières.
- **Évaluer et réformer les subventions qui encouragent une utilisation non durable de l'eau**, et veiller à la cohérence entre les objectifs de la politique de l'eau et les initiatives prises dans d'autres secteurs (notamment l'énergie et l'agriculture).

Comblent le déficit d'information

Investir dans l'amélioration des informations liées à l'eau (concernant notamment la consommation, l'irrigation et l'impact du changement climatique sur les ressources en eau).

5.1. Introduction

Partout sur la planète, les besoins quotidiens en eau suscitent une concurrence toujours plus vive entre les particuliers, les agriculteurs, les industries et les écosystèmes. Faute de gestion adaptée, le prix à payer peut être élevé – non seulement du point de vue financier, mais aussi en termes d'occasions manquées, d'atteintes à la santé et de dommages causés à l'environnement.

Le présent chapitre récapitule les pressions qui se font le plus fortement sentir sur l'eau, ainsi que les principales réponses possibles. Il commence par évoquer les difficultés et évolutions actuelles, autrement dit la manière dont les demandes concurrentes et la surexploitation, les catastrophes liées à l'eau, la mauvaise qualité de l'eau et le manque d'accès à des services d'approvisionnement et d'assainissement pourraient orienter les perspectives de l'eau en 2050. Après avoir passé en revue la panoplie d'instruments en vigueur, il envisage les possibilités d'amélioration qu'offriraient des scénarios d'action plus ambitieux¹, à partir des données et modèles de l'OCDE (dans la limite des informations disponibles). Suit un examen des mesures que doivent prendre dès maintenant les gouvernements nationaux, la communauté internationale et le secteur privé.

Principaux déterminants de la salubrité de l'eau

Quels sont les processus qui influent sur les aspects quantitatifs et qualitatifs de nos systèmes hydrologiques ? Cette section rappelle brièvement les grands facteurs en jeu, puis les principales mesures prises par les pouvoirs publics (évoquées plus en détail dans la section 5.4). L'état des ressources en eau subit le contrecoup à la fois des interventions humaines et des évolutions environnementales. Aujourd'hui, les facteurs humains sont tout d'abord l'augmentation de la population, la progression des revenus et les activités économiques (voir le chapitre 2 sur les évolutions socio-économiques). Jusqu'à présent, la croissance économique et la dynamique démographique ont exercé une plus grande influence sur l'eau que le climat. Toutefois, après 2050, le changement climatique est appelé à devenir un facteur prépondérant (voir l'encadré 5.3, pour une illustration, et l'annexe 5.A1)².

L'essor démographique et l'évolution des modes de vie stimulent la demande d'eau des ménages et le rejet de polluants dans les masses d'eau. D'après les projections examinées dans le chapitre 2, l'augmentation de la population mondiale va se poursuivre jusqu'en 2050, quoiqu'à un rythme plus lent, en se concentrant pour l'essentiel dans les pays en développement, et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest.

La croissance du produit intérieur brut (PIB) oriente la demande d'eau à usage agricole et industriel, et les effluents polluants qui vont de pair, ainsi que la demande liée à la production d'électricité. L'agriculture mérite de retenir l'attention : elle devra en effet produire bien davantage d'ici à 2050 pour répondre aux besoins grandissants de nourriture. Ce secteur a des conséquences à la fois sur la disponibilité de l'eau (en modifiant les écoulements et en rivalisant avec d'autres formes d'utilisation des eaux de surface et souterraines) et sur sa qualité (par le rejet d'éléments nutritifs et de micropolluants dans les eaux de surface et souterraines). Différents types de sources d'énergie agissent aussi sur les aspects qualitatifs et quantitatifs de l'eau disponible pour d'autres usages. L'augmentation de la demande d'énergie et la modification du bouquet énergétique sont à prendre en compte dans la gestion de l'eau.

L'urbanisation entre en jeu dans les besoins d'approvisionnement en eau et d'assainissement. D'une part, elle fait baisser le coût par habitant du raccordement aux infrastructures correspondantes. D'autre part, à mesure que la population des villes augmente, des investissements supplémentaires doivent être consacrés aux infrastructures d'adduction et d'évacuation des eaux usées. Des problèmes particulièrement complexes se posent dans les bidonvilles. Par ailleurs, l'urbanisation rend encore plus indispensables les

infrastructures de protection contre les inondations : les surfaces imperméables modifient l'écoulement des eaux pluviales, nuisent à la réalimentation des aquifères souterrains et augmentent les risques d'inondations.

Mesures d'intervention : résumé

Une action coordonnée des secteurs public et privé s'impose sans tarder pour relever les défis liés à l'eau auxquels nous sommes d'ores et déjà confrontés. D'autres efforts devront s'y ajouter à l'avenir pour parer au stress hydrique et aux nouveaux problèmes évoqués dans les sections ci-après.

Les modèles retenus pour les *Perspectives de l'environnement* montrent qu'il ne suffira pas d'accroître progressivement l'efficacité d'utilisation de l'eau (voir section 5.3, Action publique : scénarios actuels et à venir). À supposer que les performances soient radicalement améliorées à cet égard, la nécessité de revoir plus fondamentalement l'allocation des ressources en eau restera sans doute incontournable. L'eau disponible risque de faire l'objet d'une concurrence toujours plus vive entre les demandes croissantes correspondant à la production d'électricité, à l'industrie, à l'approvisionnement urbain et à l'agriculture. Comme indiqué ci-dessous, les pays de la zone OCDE expérimentent des approches novatrices concernant l'allocation des ressources en eau (droits sur l'eau négociables, compteurs intelligents, etc.), la réutilisation de l'eau ou la tarification viable de l'eau (qui passe par des redevances ou permis de prélèvement reflétant la rareté de la ressource). Il faut aller plus loin pour évaluer correctement certains de ces instruments et les utiliser à plus grande échelle, de façon à atteindre l'état environnemental voulu tout en répondant aux besoins sociaux et économiques.

Certaines des mesures requises nécessiteront des dépenses publiques. Or, dans le contexte actuel d'assainissement budgétaire, l'ampleur des ponctions devra être justifiée par une évaluation fiable des avantages, l'étude des mécanismes de financement alternatifs et la recherche de solutions possibles à bas coût.

L'innovation peut grandement contribuer à promouvoir une gestion durable des ressources en eau. Les technologies (entre autres) ont leur importance. On peut citer les systèmes d'irrigation efficaces et les techniques agricoles écologiques permettant de réduire le ruissellement des engrais, les recherches sur les cultures, l'épuration des eaux par des systèmes à membranes et autres techniques de filtration, ainsi que le traitement poussé des eaux usées. Encore faut-il que les technologies aillent de pair avec des modèles économiques inédits, et s'inscrivent dans un cadre réglementaire propice, pour améliorer la gestion de l'eau et faire de cette ressource une priorité dans d'autres domaines de l'action publique, notamment l'énergie, l'alimentation et l'aménagement du territoire. Le recensement et une meilleure évaluation des services rendus par les écosystèmes hydrologiques peuvent faciliter la généralisation de démarches innovantes, écologiquement rationnelles et peu coûteuses face à certains des défis évoqués ici. L'épuration de l'eau, la régulation des flux, la maîtrise de l'érosion et de la sédimentation, ainsi que la restauration de l'hydromorphologie, ont toutes un rôle à jouer, au même titre que les nouvelles techniques actuellement mises au point pour améliorer la collecte, le traitement et la présentation des données étayant à la fois l'élaboration des politiques et les activités relatives à l'eau.

Le secteur privé a un rôle crucial à jouer dans la recherche de technologies novatrices et de modèles économiques inédits. Sont notamment concernés les entreprises de l'eau, le secteur financier (opportunités à saisir en matière d'investissements liés à l'eau), ainsi que les utilisateurs de l'eau dans des domaines tels que la production énergétique, l'industrie, l'agriculture et leurs fournisseurs (qui mettent au point et diffusent des pratiques efficaces concernant l'utilisation de l'eau).

La gouvernance est également déterminante, car la politique de l'eau recoupe un large éventail de secteurs à des échelles géographiques différentes, du niveau local au niveau transfrontalier. D'après une analyse des dispositifs de gouvernance de l'eau dans les pays de l'OCDE, l'insuffisance du financement destiné à la gestion des ressources en eau arrive en tête des préoccupations pour la plupart des pays, suivie par l'éparpillement des missions et responsabilités incombant aux instances centrales et infranationales, et par le manque de capacités (infrastructures et connaissances) des collectivités territoriales (OCDE, 2011g). Dans le cas des cours d'eau, lacs et aquifères transfrontaliers, la gouvernance est essentielle pour éviter les tensions diplomatiques et sociales. D'où l'utilité d'instruments de portée générale, tels que la Convention de la CEE-ONU sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux (Convention sur l'eau), et d'instruments plus spécifiques (comme le Fonds international pour le sauvetage de la mer d'Aral, IFAS).

5.2. Grandes tendances et projections

Cette section passe en revue les tendances et les projections à long terme concernant la demande, l'exploitation et la disponibilité de l'eau (eaux souterraines et stress hydrique compris), les catastrophes liées à l'eau, la qualité de l'eau, ainsi que l'accès aux services d'approvisionnement et d'assainissement. Elle vise aussi à définir les termes employés (encadré 5.1). D'autres précisions sur les hypothèses retenues et l'analyse sous-tendant cette section sont données dans le chapitre 1 (Introduction) et dans l'annexe 5.A1 à la fin du présent chapitre.

Encadré 5.1. Définitions clés

Le présent chapitre renvoie à plusieurs notions qui appellent une définition rigoureuse.

Demande d'eau : demande émanant de différents usagers. Peut répondre à cette demande l'eau douce provenant de l'environnement naturel (cours d'eau, lac ou aquifère) ou d'autres sources (eau recyclée, par exemple).

Prélèvement d'eau (ou extraction d'eau) : eau physiquement prélevée dans l'environnement. Une partie de cette eau peut retourner dans l'environnement. C'est ainsi que plusieurs industries effectuent de tels prélèvements à des fins de refroidissement – puis restituent une eau dont l'état se prête à d'autres usages. Toutefois, une partie importante de l'eau prélevée dans l'environnement est perdue. Par exemple, dans certaines villes, les fuites de canalisations représentent jusqu'à 40 % de l'eau traitée pour une utilisation domestique.

Consommation d'eau : utilisation réduisant la quantité ou la qualité de l'eau qui est restituée à l'environnement. L'eau consommée n'est pas nécessairement prélevée dans l'environnement (elle peut provenir d'autres sources, telles que l'eau recyclée). Certaines formes d'utilisation de l'eau ne se traduisent pas par une consommation (par exemple, la navigation, la baignade, les processus naturels). Elles doivent néanmoins être prises en compte dans la gestion de la ressource (notamment selon des critères environnementaux de flux et de qualité). L'agriculture consomme de l'eau par le biais de l'évapotranspiration et de la récolte des végétaux. L'hydroélectricité en consomme du fait de l'évaporation correspondant à la surface supplémentaire de la masse d'eau retenue par un barrage. Les effets des utilisations domestiques et industrielles sur la qualité de l'eau dépendent du traitement avant rejet dans l'environnement.

Épuisement des eaux souterraines : situation dans laquelle les prélèvements dépassent le taux de recharge naturelle des nappes.

Eau bleue : eau douce des aquifères, cours d'eau et lacs qui peut être prélevée à diverses fins, notamment pour l'irrigation, les activités manufacturières, la consommation humaine, l'élevage et la production d'électricité.

Eau verte : eau des précipitations qui s'infiltré naturellement dans le sol pour retourner ensuite du bassin versant vers l'atmosphère par le phénomène d'évapotranspiration.

Stress hydrique : moyenne annuelle, toutes formes confondues, de la demande d'eau « bleue » (voir ci-dessus) dans un bassin (ou sous-bassin) hydrographique par rapport à la moyenne annuelle des disponibilités en eau (précipitations moins évapotranspiration) dans ce bassin. Le flux d'eau « verte » est ainsi pris en compte dans le volume d'eau disponible. Les ratios obtenus sont souvent classés en quatre catégories : moins de 10 % = stress nul ; 10-20 % : stress faible ; 20-40 % = stress moyen ; et plus de 40 % = stress élevé. Étant donné la variabilité saisonnière et interannuelle de la demande et des disponibilités, à laquelle s'ajoute le souci de maintenir les flux naturels à un certain niveau, plus les ratios sont élevés, plus le volume d'eau disponible risque d'être insuffisant.

Sources : travaux publiés par la FAO, notamment : FAO (1996), *Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*, Rome – voir en particulier la section sur les indicateurs pour le développement de ressources en eau durables www.fao.org/docrep/W4745E/w4745e0d.htm ; FAO (2010), *Disambiguation of Water Use Statistics*, FAO, Rome.

Eau douce : demande et exploitation

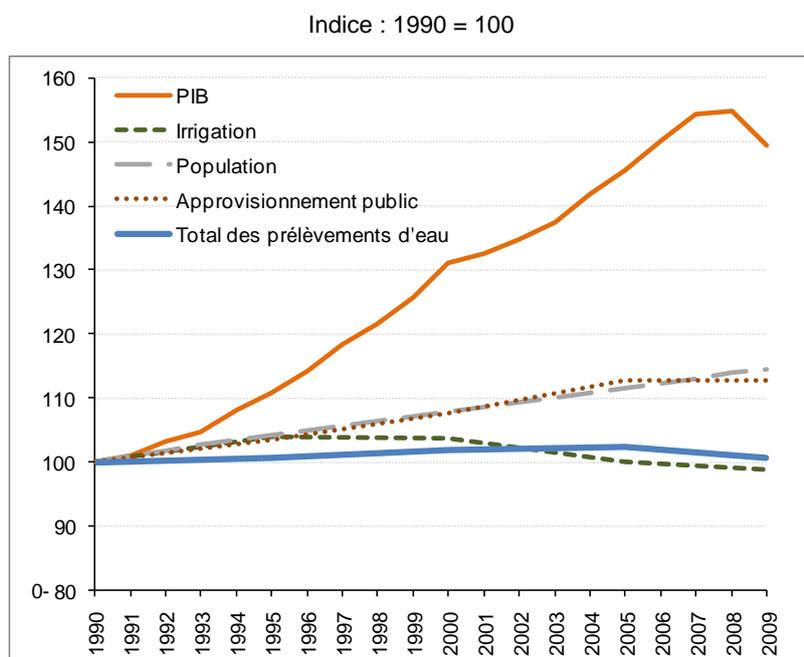
Tendances récentes dans les pays de l'OCDE

À l'échelle de la planète, les estimations indiquent que la demande d'eau a augmenté deux fois plus vite que la population au cours du siècle dernier. Le secteur agricole est arrivé en tête, avec environ 70 % de la demande totale d'eau douce (OCDE, 2008c). En 2000, la demande mondiale d'eau la plus importante provenait, après l'agriculture irriguée, de la production d'électricité, pour le refroidissement des centrales thermiques (turbines à vapeur).

Dans la zone OCDE, le total des prélèvements d'eau de surface est resté stable depuis les années 1980 (figure 5.1). Or les quantités prélevées pour l'approvisionnement public et, dans une moindre mesure, pour l'irrigation ont augmenté. Plusieurs explications peuvent être avancées : techniques d'irrigation plus performantes ; déclin de certaines industries grandes consommatrices d'eau (activités extractives, sidérurgie, etc.) ; utilisation plus efficace de l'eau par les centrales thermiques ; recours accru à des technologies de production plus propres ; et réduction des fuites des réseaux d'adduction. Depuis peu, la stabilisation observée tient aussi en partie aux sécheresses, autrement dit à des conditions physiques rendant les prélèvements d'eau impossibles dans certaines régions.

Les quantités d'eau destinées à l'agriculture ont augmenté de 2 % entre 1990 et 2003 dans la zone OCDE, mais tendent depuis à diminuer. L'irrigation a représenté 43 % du total de l'eau utilisée par les pays de l'OCDE en 2006. Pour l'essentiel, la progression de l'utilisation à des fins agricoles a été le fait de l'Australie, de la Grèce, du Portugal et de la Turquie – pays dans lesquels l'agriculture consomme beaucoup d'eau (plus de 60 % du total des prélèvements d'eau douce) et/ou dans lesquels ce secteur repose largement sur l'irrigation (plus de 20 % des terres cultivées).

Figure 5.1. Prélèvements d'eau douce, principales utilisations et PIB dans la zone OCDE, 1990-2009



Note : le Chili, l'Estonie, Israël et la Slovaquie ne sont pas pris en compte dans les données.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

Même si, au niveau national, la plupart des pays de l'OCDE font globalement une utilisation durable de l'eau, presque tous restent confrontés à des pénuries, au moins saisonnières ou localisées, et plusieurs comptent de vastes régions arides ou semi-arides où le manque d'eau nuit à la viabilité du développement et de l'agriculture.

Les figures 5.2 et 5.3 illustrent l'intensité de l'utilisation des ressources en eau douce (de surface et souterraines), exprimée en prélèvements bruts par habitant et en pourcentage des ressources renouvelables. Les indicateurs révèlent d'importants écarts à l'intérieur de la zone OCDE. Les pays européens affichent

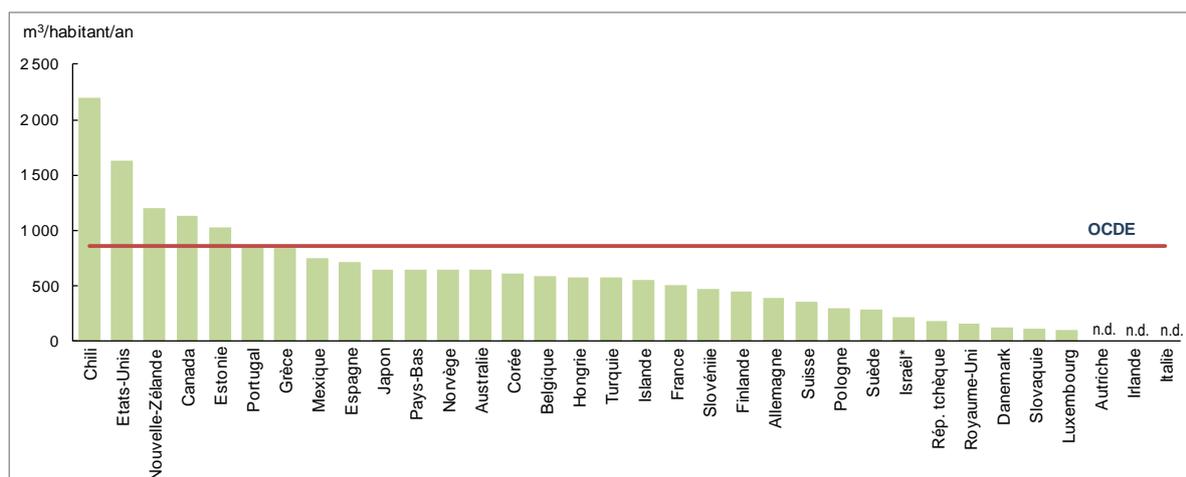
généralement des chiffres par habitant moins élevés. L'eau est utilisée de façon plus ou moins durable selon les pays. Par exemple, en 2005, les prélèvements ont représenté 1.2 % environ de l'apport d'eau total au Canada, contre 40 % en Corée, dont l'équilibre hydrique est ainsi menacé. La situation est également préoccupante dans certains pays européens de l'OCDE tels que la Belgique et l'Espagne, où les prélèvements dépassent 20 % des ressources en eau renouvelables (figure 5.3).

La réalité est cependant plus complexe que ne le laissent entrevoir les indicateurs agrégés. L'indicateur national peut occulter une utilisation non durable dans certaines régions ou à certaines périodes, ainsi qu'une forte dépendance vis-à-vis de ressources provenant de pays voisins (dans le cas des bassins transfrontaliers). Dans les régions arides, il arrive que les ressources en eau douce soient insuffisantes au point de rendre inévitable une exploitation non durable pour répondre à la demande.

Dans les pays de l'OCDE, les principaux sujets de préoccupation sont l'utilisation inefficace de l'eau (gaspillage, imputable par exemple aux fuites des canalisations urbaines) et ses conséquences environnementales et socio-économiques : diminution des débits fluviaux, pénuries d'eau, salinisation des masses d'eau douce dans les zones côtières, problèmes sanitaires, recul des zones humides, appauvrissement de la biodiversité, désertification et réduction de la production alimentaire.

Figure 5.2. Prélèvements annuels d'eau douce par habitant, pays de l'OCDE

2009 ou dernière année disponible

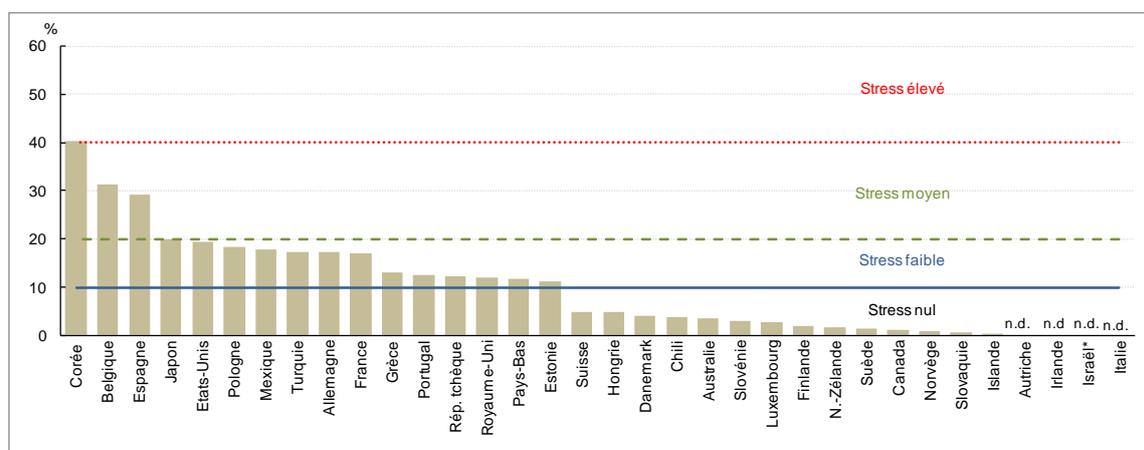


Note : Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

Figure 5.3. Stress hydrique, pays de l'OCDE

2009 ou dernière année disponible ; prélèvements d'eau en % des ressources renouvelables



Note : moins de 10 % = stress nul ; 10-20 % = stress faible ; 20-40 % = stress moyen ; plus de 40 % = stress élevé.

Note : Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

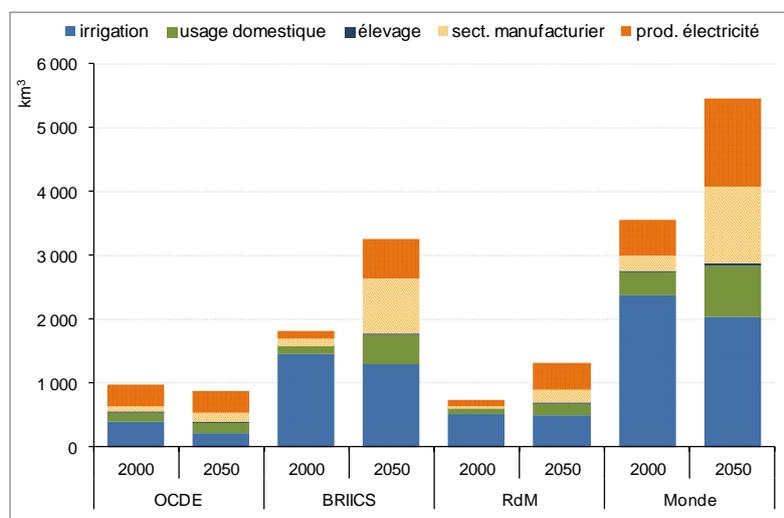
Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

Demande mondiale d'eau à l'horizon 2050

Le scénario de référence des *Perspectives de l'environnement* prévoit une augmentation significative de la demande mondiale d'eau – de 3 500 km³ environ en 2000 à près de 5 500 km³ en 2050 (figure 5.4), soit 55 % de plus. Sont principalement en cause les activités manufacturières (+400 %, environ 1000 km³), la production d'électricité (+140 %, environ 600 km³) et les usages domestiques (+130 %, environ 300 km³). Toutefois, la demande n'est pas automatiquement transposable en termes de consommation, puisqu'une part importante de la ressource utilisée retourne ensuite dans les masses d'eau, en restant ainsi utilisable en aval, si la qualité le permet.

Faute de nouvelles politiques, la répartition de la demande d'eau devrait aussi changer sensiblement d'ici à 2050. Il faut s'attendre à une forte augmentation de la demande d'eau en Asie du Sud et en Chine, de même que dans d'autres économies émergentes du groupe des BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud), et à des parts beaucoup plus grandes en 2050 pour le secteur manufacturier, la production d'électricité et les usages domestiques. Les pays en développement (« reste du monde », ou RdM) devraient également afficher une importante demande d'eau destinée à la production d'électricité. Partout sur la planète, la progression de la demande correspondant à ces utilisations entrera en concurrence avec la demande d'eau d'irrigation. En conséquence, une diminution de la part disponible pour l'irrigation est à prévoir (encadré 5.2). Cette concurrence pour l'accès à l'eau serait encore plus vive si les projections prenaient en compte les quantités supplémentaires indispensables au maintien de flux suffisants pour assurer la santé des écosystèmes.

Figure 5.4. Demande mondiale d'eau : scénario de référence, 2000 et 2050



Note : ce graphique se rapporte uniquement à la mesure de la demande d'eau « bleue » (voir encadré 5.1) et ne tient pas compte de l'agriculture pluviale.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement* ; résultats du modèle IMAGE.

Encadré 5.2. Incertitudes entourant la demande d'eau à usage agricole

Dans la présente édition des *Perspectives de l'environnement*, les projections relatives à l'utilisation d'eau d'irrigation supposent que la superficie des terres irriguées demeurera inchangée d'ici à 2050, pour plusieurs raisons.

- D'après la majorité des analystes, l'irrigation ne pourra pas s'étendre à grande échelle au cours des décennies à venir car les terres qui s'y prêtent sont rares dans la plupart des régions ; là où elles existent, ces terres sont peu susceptibles d'être irriguées rapidement, faute d'infrastructures et de budgets publics suffisants.
- L'irrigation est appelée à entrer de plus en plus en concurrence avec d'autres usages de l'eau, et l'expérience montre que les usages domestiques tendent à l'emporter sur l'irrigation dans l'allocation des ressources en eau.
- Une grande marge d'incertitude entoure les superficies irriguées, actuelles et à venir, ainsi que la quantité d'eau utilisée à cette fin. Il ressort de divers ouvrages fondés sur des hypothèses comparables à celles du scénario de référence des *Perspectives de l'OCDE* que les projections se situent entre le niveau actuel (incertain) et 10 % à 20 % de plus d'ici au milieu du siècle (voir l'annexe 5.A1).

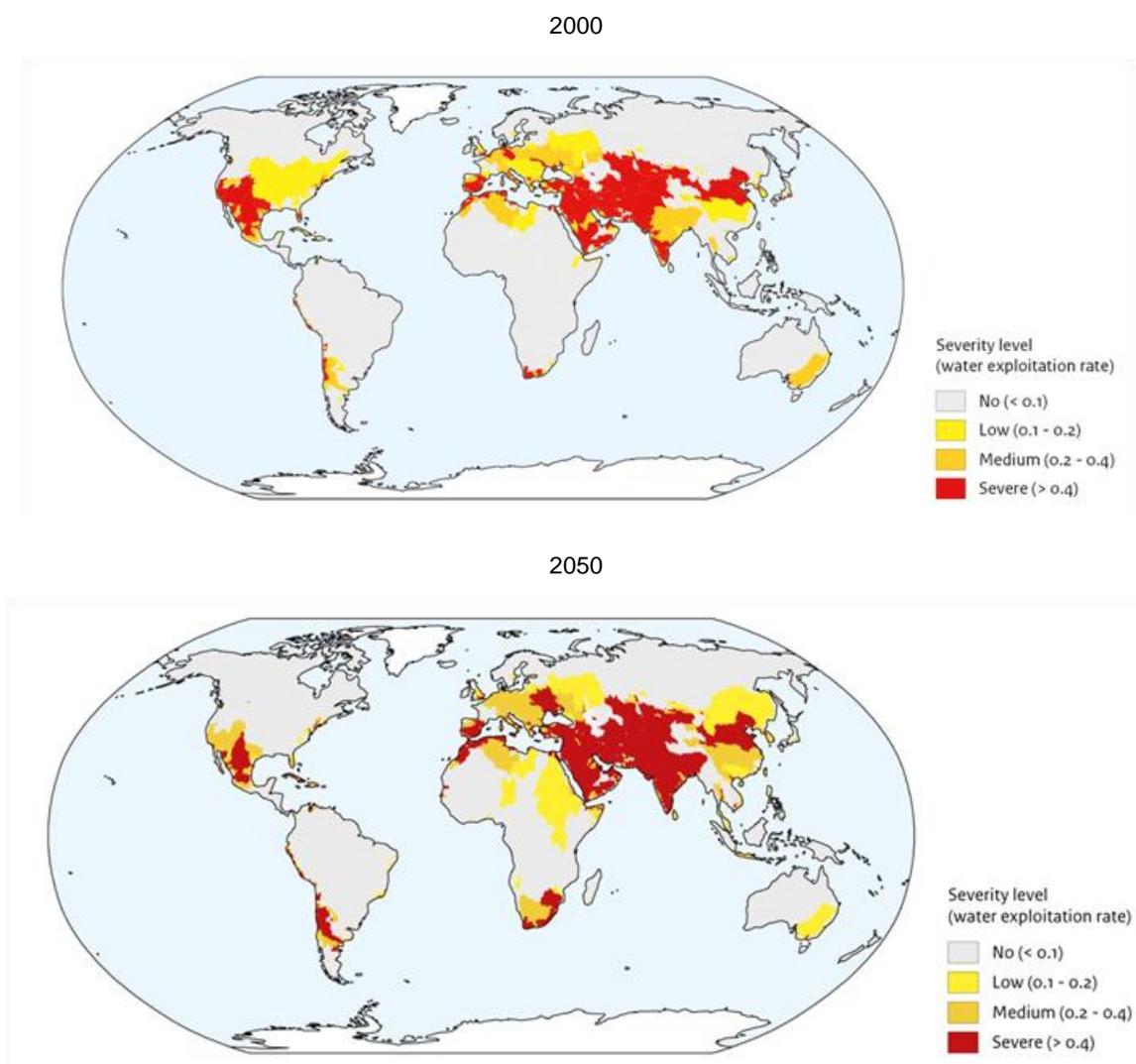
Étant donné ces incertitudes et les maigres possibilités d'expansion, on se fonde ici sur une hypothèse prudente d'absence d'augmentation des surfaces irriguées. Aussi le stress hydrique à venir peut-il être sous-estimé dans certaines régions. Les méthodes d'estimation de la demande d'eau retenues pour les *Perspectives de l'environnement* sont examinées plus avant dans l'annexe 5.A1.

Problème grandissant du stress hydrique

L'accroissement de la demande en eau va accentuer le stress hydrique (voir l'encadré 5.1 pour la définition) dans beaucoup de bassins hydrographiques, en particulier dans les régions très peuplées des

économies en développement rapide. En conséquence, la planète comptera plus de bassins hydrographiques soumis à un stress hydrique élevé en 2050, d'après les projections du *scénario de référence* (figure 5.5). D'ici à 2050, le nombre d'habitants concernés devrait fortement augmenter, pour atteindre 3.9 milliards, soit plus de 40 % de la population mondiale, contre 1.6 milliard en 2000. Près des trois quarts de l'ensemble des personnes confrontées à un stress hydrique élevé vivront alors dans les pays du groupe BRIICS. La quasi-totalité de la population de l'Asie du Sud et du Moyen-Orient et de larges parts de celle de la Chine et de l'Afrique du Nord se trouveront dans des bassins hydrographiques affichant un stress hydrique élevé. Les conséquences pour la vie quotidienne sont incertaines, et dépendront largement de l'efficacité des stratégies de gestion de l'eau mises en place. Par ailleurs, le stress hydrique devrait s'atténuer quelque peu dans certains pays de l'OCDE, tels que les États-Unis. On prévoit en effet une baisse de la demande (grâce à des gains d'efficacité et à une réorientation structurelle au profit d'activités de services consommant moins d'eau) et une augmentation des précipitations due au changement climatique (encadré 5.3).

Figure 5.5. Stress hydrique par bassin hydrographique : scénario de référence, 2000 et 2050



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement* ; résultats du modèle IMAGE.

Encadré 5.3. Impact du changement climatique sur les ressources en eau douce : l'exemple du Chili

Le changement climatique influera sur les ressources en eau douce en modifiant le cycle hydrologique. Selon les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), son impact sur les systèmes d'eau douce et leur gestion se manifestera surtout par la hausse des températures, l'élévation du niveau des mers et la variabilité des précipitations. Des modifications toucheront la quantité, la régularité, la répartition dans le temps, la forme et l'intensité des précipitations, ainsi que l'écoulement annuel moyen ; la fréquence et l'intensité de phénomènes extrêmes comme les inondations et sécheresses augmenteront ; la température de l'eau et le taux d'évapotranspiration s'élèveront ; et la qualité de l'eau se dégradera (Bates *et al.*, 2008). La nature et l'ampleur de ces répercussions attendues dépendent étroitement du contexte : certaines régions devraient afficher un excès ou un manque d'eau, et beaucoup pâtiront de niveaux de pollution insoutenables résultant d'une plus grande irrégularité des précipitations et des débits fluviaux. Ces problèmes s'accroîtront au cours de la seconde moitié du siècle (GIEC, 2008).

Jusqu'à présent, la croissance économique et la dynamique démographique ont exercé une plus grande influence sur l'eau que le climat. Mais dès maintenant, le changement climatique incite à faire prévaloir la souplesse et la résilience dans les mécanismes d'allocation de l'eau et les infrastructures liées à l'eau (équipements hydroélectriques, ouvrages de protection contre les inondations, systèmes de drainage et d'irrigation, installations de traitement des eaux usées, etc.), compte tenu du caractère plus aléatoire des régimes hydrologiques à venir.

Par exemple, diverses études nationales menées récemment au Chili ont permis une première évaluation quantitative des répercussions du changement climatique sur les ressources en eau. A été plus particulièrement analysé l'impact des évolutions affectant la température, l'évapotranspiration et les précipitations dans huit bassins hydrographiques qui s'étendent dans la vallée centrale du Chili.

L'analyse laisse présager une diminution de l'écoulement fluvial de 35 % en moyenne pour l'ensemble des bassins hydrographiques entre 2041 et 2070. Ceux qui sont situés à l'extrême nord et à l'extrême sud (bassins de Limarí et de Cautín) seront plus gravement touchés à court terme. Les résultats mettent également en évidence, pour certains bassins, un décalage dans le temps du gonflement des cours d'eau lié à la fonte des neiges, qui pourrait survenir non plus au printemps et en été, mais pendant les mois d'hiver. Pour la quasi-totalité des bassins considérés, ils indiquent une forte augmentation du nombre de mois correspondant à un déficit hydrologique. La disponibilité des ressources en eau en sera grandement perturbée pour les différents secteurs productifs du Chili. Parallèlement, l'élévation prévue des températures devrait repousser plus haut la limite des neiges persistantes et entraîner un accroissement des débits d'eau hivernaux dans la cordillère des Andes.

Sources : voir, par exemple, Vicuña S., R.D. Garreaud et J. McPhee (2010), "Climate Change Impacts on the Hydrology of a Snowmelt Driven Basin in Semiarid Chile", *Climate Change*, DOI 10.1007/s10584-010-9888-4 ; Bates, B.C., Z.W Kundzewicz, S. Wu et J.P. Palutikof, dir. pub. (2008), *Le changement climatique et l'eau*, Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève.

Épuisement des eaux souterraines

Les nappes souterraines sont, de loin, la principale source d'eau douce sur la Terre (eau stockée sous forme de glace non comprise). Elles représentent plus de 90 % de l'eau douce immédiatement disponible (PNUE, 2008 ; Boswinkel, 2000). Le volume total de ces ressources souterraines est difficile à mesurer, mais, d'après une estimation, il avoisinerait 10.5 millions km³ (Shiklomanov et Rodda, 2003) à l'échelle mondiale. Par ailleurs, dans les zones pauvres en eaux de surface, à commencer par certaines parties de l'Afrique, et là où il n'existe pas d'autre solution, les nappes souterraines constituent une ressource relativement propre, fiable et économique. Elles contribuent aussi grandement à préserver les systèmes hydrographiques en alimentant les lacs et cours d'eau.

Toutefois, le rythme d'exploitation des eaux souterraines devient insoutenable dans un certain nombre de régions. Les nappes sont de plus en sollicitées, car les technologies modernes de captage se généralisent tandis que les ressources en eaux de surface, plus accessibles, sont peu à peu surexploitées. À l'échelle mondiale, on estime que l'eau douce provenant des nappes souterraines entre comme suit dans les différentes utilisations : 50 % dans l'approvisionnement à usage domestique ; 40 % dans les prélèvements

liés à l'auto-provisionnement des industries ; et 20 % dans la fourniture d'eau d'irrigation (Zektser et Everett, 2004). À l'échelle de l'Union européenne, la part de l'approvisionnement en eaux souterraines qui va à des utilisations domestiques s'établit à 70 % environ ; en France, les eaux souterraines représentent 63 % des prélèvements pour les usages domestiques, 41 % pour les activités industrielles et 20 % pour l'irrigation.

Dans la seconde moitié du XX^e siècle, l'exploitation des eaux souterraines aidant, les conditions de vie et la sécurité alimentaire se sont améliorées pour des milliards d'agriculteurs et de consommateurs. Mais l'épuisement des nappes pourrait bien constituer la principale menace pour l'agriculture irriguée, avant même l'accumulation de sels dans le sol. Sa rapidité est due à la multiplication des petites pompes d'irrigation dans le monde en développement. Le volume d'eau souterraine utilisé par l'irrigation dépasse nettement les taux de recharge des nappes dans certaines régions en Australie, aux États-Unis, en Grèce, en Italie et au Mexique, non sans compromettre la viabilité économique de l'agriculture. Dans des pays caractérisés par d'importantes zones semi-arides, comme l'Australie, les États-Unis, l'Inde et le Mexique, l'eau d'irrigation est pour plus d'un tiers pompée dans le sol (Zektser et Everett, 2004). La surexploitation des aquifères, surtout dans les régions semi-arides et arides, entraîne des problèmes environnementaux (piètre qualité de l'eau, diminution des débits fluviaux, assèchement des zones humides), une augmentation des coûts de pompage et l'appauvrissement de la ressource pour les générations futures (Shah *et al.*, 2007).

Même si nous n'utilisons qu'une proportion relativement faible des réserves d'eaux souterraines connues de la planète, le stock mondial s'amenuise (« épuisement des eaux souterraines » – voir encadré 5.1) à un taux qui a plus que doublé entre 1960 et 2000, de 130 km³ (± 30) à 280 km³ (± 40) d'eau par an (Wada *et al.*, 2010). Au cours des 50 dernières années, le processus s'est étendu au-delà de poches isolées pour toucher de vastes superficies dans un grand nombre de pays. Une étude montre que les taux d'épuisement les plus élevés correspondent à certaines des principales régions agricoles du monde, notamment le nord-ouest de l'Inde, le nord-est de la Chine, le nord-est du Pakistan, ainsi que la vallée centrale de la Californie et le Midwest aux États-Unis (Wada *et al.*, 2010). En outre, elle fait apparaître que le taux d'épuisement a augmenté de façon plus ou moins linéaire entre les années 1960 et le début des années 1990, parallèlement au rythme rapide de l'essor économique et de l'accroissement démographique, surtout en Inde et en Chine.

Toute diminution du volume total d'eaux souterraines, aussi faible soit-elle (quelques points de pourcentage seulement dans certains cas), a un effet sensible sur les ressources en eau. Par exemple, elle peut provoquer l'affaissement des sols, ce qui entame définitivement la capacité de stockage de l'aquifère et augmente le risque d'inondation. Là où les nappes alimentent les cours d'eau et les lacs, le moindre déficit suffit pour réduire l'écoulement fluvial et abaisser le niveau des lacs, ce qui amoindrit la surface d'eau disponible pour les utilisations humaines ou les écosystèmes ripicoles et aquatiques. Ces effets externes peuvent à leur tour limiter les perspectives d'exploitation des ressources en eaux souterraines (Alley, 2007).

Bien que l'exploitation des ressources souterraines ait impérativement besoin d'être compensée, beaucoup de pays arides la subventionnent, de façon directe ou indirecte (par exemple, certaines mesures dispensent les agriculteurs du paiement de l'énergie utilisée pour pomper l'eau des aquifères), et ne prévoient pas de dispositions pour recharger les nappes exploitées. Les subventions accordées à l'agriculture au titre de l'énergie ont fait grandement baisser les coûts des prélèvements des eaux souterraines dans un certain nombre de pays de l'OCDE et en Inde.

Catastrophes liées à l'eau

Non seulement l'eau ne répond pas aux besoins quantitatifs et qualitatifs d'un grand nombre d'habitants de la planète, mais les perturbations provoquées par les sécheresses et les inondations font planer une menace supplémentaire sur leur sécurité. Les catastrophes liées aux inondations, aux tempêtes

et aux sécheresses sont lourdes de conséquences pour la santé, l'environnement et le développement économique. Ainsi, après la sécheresse qui a sévi en Éthiopie et au Soudan en 1983, plus de 400 000 personnes sont mortes de famine. En 2002, la sécheresse survenue en Inde, ainsi que les inondations et les tempêtes en Chine, ont touché 450 millions de personnes. En 2005, aux États-Unis, l'ouragan Katrina et l'inondation qui a suivi se sont soldés par des dommages évalués à 140 milliards USD.

Tendances récentes

Les catastrophes météorologiques, en particulier les inondations, les sécheresses et les tempêtes, ont été plus nombreuses durant les trois décennies écoulées (figure 5.6). L'évolution des catastrophes liées à l'eau et à la météorologie entre 1980 et 2009 a été analysée au moyen d'informations fournies par la base de données EM-DAT (Emergency Events database), tenue à jour par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED)³. Cette base de données recense des informations sur les répercussions humaines et économiques des catastrophes liées à l'eau, et des indicateurs rendent compte des pertes économiques directes et du nombre de victimes (personnes touchées ou tuées). Les catastrophes sont classées par catégories en fonction des causes (inondations, sécheresses ou tempêtes).

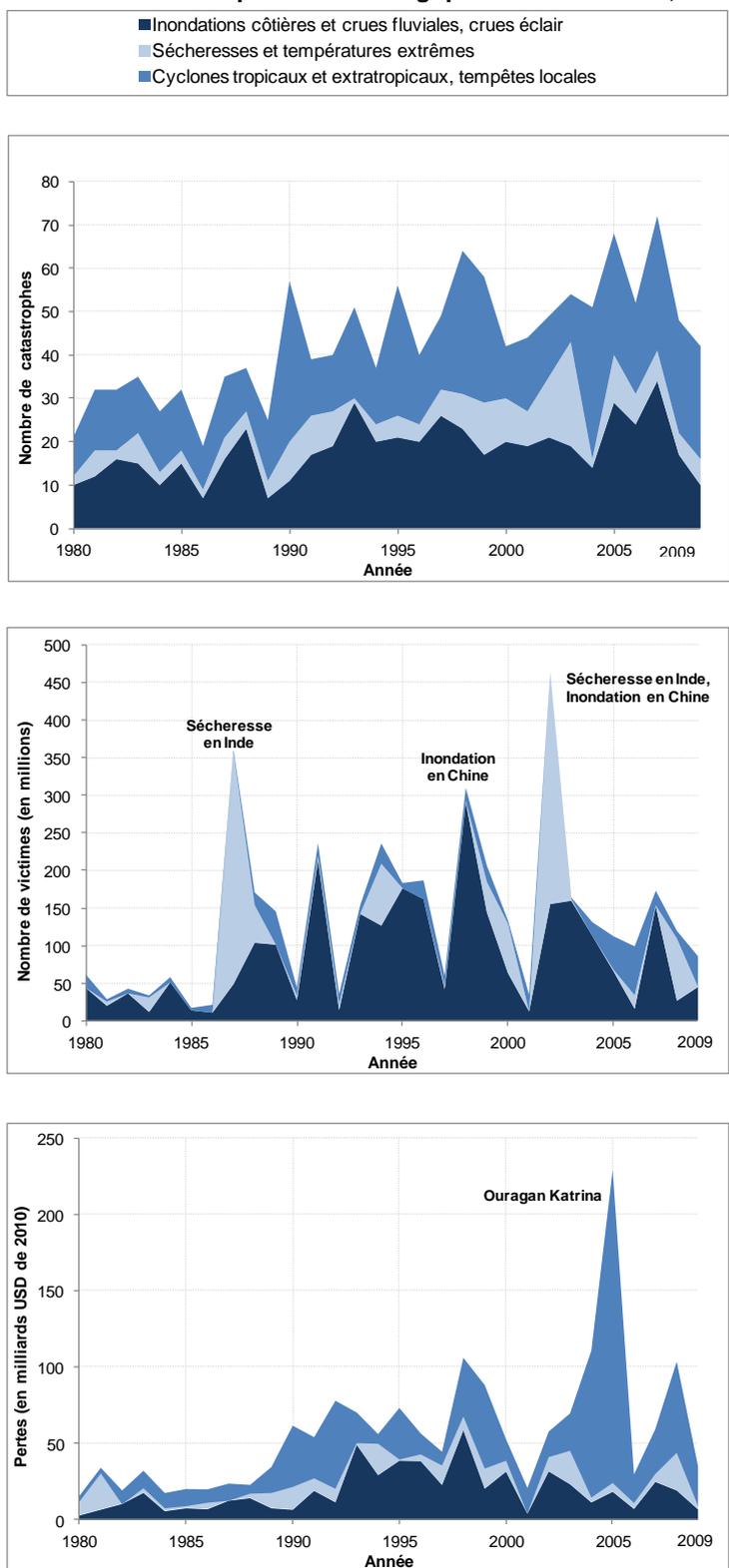
La figure 5.6 fait apparaître les tendances passées concernant le nombre de catastrophes « graves » liées aux conditions météorologiques (en haut), le nombre de victimes (au milieu) et les pertes économiques (en bas). Les principaux facteurs en jeu sont l'accroissement de la population mondiale, l'augmentation des richesses et l'expansion des zones bâties. S'il existe un lien étroit entre les valeurs extrêmes des variables climatiques et les catastrophes d'ordre météorologique (GIEC, 2011), les données ne sont pas suffisantes pour permettre d'établir une corrélation entre la fréquence des catastrophes et le changement climatique. Les études dans lesquelles les pertes économiques ont été ajustées en fonction de l'essor démographique et de la croissance économique indiquent généralement une tendance à la stabilisation, voire à la diminution, des pertes imputables aux événements graves liés à l'eau (Neumayer et Barthel, 2011 ; Bouwer, 2011 ; voir également l'annexe 5.A1).

Pour la période 1980-2009, les catastrophes liées à la météorologie se répartissent comme suit : inondations, plus de 40 % ; tempêtes, un peu moins de 45 % ; et sécheresses, 15 %. Le nombre de victimes oscille entre 100 et 200 millions environ par an, avec des pointes à 300 millions, voire plus. Près de deux tiers des victimes peuvent être attribuées aux inondations. Viennent ensuite les sécheresses et les températures extrêmes, soit 25 %, et les tempêtes, pour les 10 % de victimes restantes.

Les estimations indiquent des pertes économiques allant de 50 à 100 milliards USD par an entre 1980 et 2009. Le pic de 220 milliards correspond à l'ouragan Katrina qui a frappé les États-Unis en 2005. Les pertes économiques sont imputables pour la moitié aux tempêtes, pour un tiers aux inondations et pour près de 15 % aux sécheresses.

Le nombre de catastrophes est assez également réparti entre les régions : près de 40 % pour l'OCDE, 30 % pour les BRIICS et 30 % pour le reste du monde (RdM). Mais des différences marquées sont à signaler entre ces trois groupes en termes d'impacts. S'agissant des victimes (personnes touchées ou tuées), les pourcentages respectifs sont les suivants : BRIICS, plus de 80 % ; RdM, près de 15 % ; pays de l'OCDE, 5 % seulement environ. Les pertes économiques affectent pour les deux tiers les pays de l'OCDE, pour un quart les BRIICS et pour un peu plus de 10 % le RdM. Ces chiffres témoignent des écarts entre les trois groupes de pays en ce qui concerne la capacité d'adaptation et la valeur économique des biens, immobiliers et autres.

Figure 5.6. Les catastrophes météorologiques dans le monde, 1980-2009



Note : à des fins de comparaison, les pertes sont exprimées en USD de 2010.

Source : Visser, H., A.A Bouwman, P. Cleij, W. Ligvoet et A.C. Petersen (à paraître), Trends in Weather-related Disaster Burden: A global and regional study, PBL (Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas), La Haye/Bilthoven.

Inondations : la situation en 2050

D'après le scénario des *Perspectives de l'environnement*, la population de la planète va croître d'un tiers d'ici à 2050, pour dépasser 9 milliards d'habitants (chapitre 2). Dans le même temps, celle des plaines alluviales et deltas – zones plus particulièrement touchées par les inondations – devrait progresser encore plus rapidement, de près de 40 %. Les évolutions en termes d'exposition des populations et des actifs économiques, et dans certains cas en termes de vulnérabilité, sont principalement en cause dans l'augmentation des pertes liées aux catastrophes observée par le passé (GIEC, 2011). Elles se poursuivront sans doute dans les décennies à venir. Abstraction faite du changement climatique, appelé à jouer un rôle déterminant dans les inondations à l'horizon 2050, le nombre de personnes et la valeur des actifs exposés seront nettement plus élevés qu'aujourd'hui : 1.6 milliard de personnes (soit pratiquement 20 % de la population mondiale) et quelque 45 000 milliards USD (340 % de plus qu'en 2010). En ce qui concerne la valeur économique, l'augmentation par région devrait être d'à peine 130 % pour les pays de l'OCDE, de plus de 640 % pour les BRIICS et de près de 440 % pour les pays en développement (voir l'annexe 5.A1 pour d'autres précisions sur ces calculs).

La vulnérabilité aux inondations n'est pas partout la même à l'intérieur des pays, et les plus pauvres sont souvent les premières victimes. Par exemple, Dhaka, Kolkata (Calcutta), Shanghai, Mumbai (Bombay), Jakarta, Bangkok et Hô-Chi-Minh-Ville sont les villes qui comptent le plus grand nombre de personnes exposées aux inondations, et se trouvent en outre dans des pays affichant un PIB par habitant peu élevé, en 2010 comme en 2050 (voir l'annexe 5.A1). Cette liste coïncide avec celle d'une étude antérieure de l'OCDE sur les villes côtières mentionnée dans le chapitre 3 sur le changement climatique (Nicholls *et al.*, 2008).

Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est essentielle pour le bien-être des êtres humains, le maintien d'écosystèmes aquatiques sains et les activités du secteur primaire, notamment l'agriculture et l'aquaculture. Or l'eutrophisation (évoquée ci-après), l'acidification, la contamination toxique et les micropolluants pèsent lourdement sur la santé humaine, le coût du traitement de l'eau potable, l'irrigation et les écosystèmes aquatiques. Les problèmes de qualité rendant l'eau inutilisable ne font qu'aggraver la pénurie.

Tendances récentes dans les pays de l'OCDE

Si les pays de l'OCDE ont fait sensiblement baisser la charge de pollution provenant de sources – municipales et industrielles – fixes en implantant des stations d'épuration et en réduisant l'utilisation de produits chimiques, les améliorations apportées à la qualité de l'eau ne sont pas toujours immédiatement perceptibles⁴, sauf en ce qui concerne la pollution organique. La charge de pollution émanant de sources – agricoles et urbaines – diffuses (engrais et pesticides, ruissellement sur les surfaces imperméables et les routes, produits pharmaceutiques dans les déchets humains et animaux) continue de poser des problèmes dans de nombreux pays.

La part relative de la pollution de l'eau par les éléments nutritifs d'origine agricole a augmenté en raison de la baisse plus rapide des niveaux absolus de pollution industrielle et urbaine. Entre 1990 et le milieu des années 2000, les pressions exercées par l'agriculture sur la qualité des cours d'eau, des lacs, des nappes souterraines et des eaux côtières se sont atténuées dans la plupart des pays de l'OCDE parallèlement à la diminution des excédents d'éléments nutritifs et des applications de pesticides. Malgré cette amélioration, en termes absolus, la pollution due aux éléments nutritifs et aux pesticides reste significative dans beaucoup de pays et régions de l'OCDE. Dans près de la moitié des pays membres, les concentrations mesurées dans les eaux de surface et souterraines des zones agricoles dépassent les valeurs

limites recommandées par les normes nationales d'eau potable. S'ajoute le problème des aquifères profonds pollués par l'agriculture, dont la dépollution naturelle peut prendre plusieurs décennies. Dans certains cas, la réduction de la pollution agricole n'a pas apporté d'amélioration qualitative à l'eau provenant de nappes souterraines dégradées qui se renouvellent lentement.

Dans la zone OCDE, le prix à payer peut être élevé pour traiter l'eau en éliminant les éléments nutritifs et les pesticides afin qu'elle réponde aux normes d'eau potable. L'eutrophisation des eaux marines a aussi un coût économique pour les pêcheries commerciales de certains pays (comme la Corée ou les États-Unis). La présence de micropolluants persistants dans les masses d'eau alourdit également la facture du traitement de l'eau potable (encadré 5.4).

Encadré 5.4. Pallier les risques liés aux micropolluants

Les micropolluants, et leurs effets sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine, sont une source d'inquiétude grandissante. Sont visés les médicaments, les cosmétiques, les produits détergents ou les résidus de biocides (herbicides et fongicides). Ils pénètrent dans les masses d'eau via l'évacuation des eaux urbaines, l'écoulement provenant des terres agricoles et le ruissellement des eaux pluviales à partir des routes et des surfaces imperméables. Les micropolluants peuvent avoir une action néfaste sur les organismes vivants, êtres humains compris, le plus souvent en perturbant le système endocrinien (hormonal), avec pour conséquences des cancers, des malformations congénitales et divers troubles du développement (voir chapitre 6, section 6.4 sur les produits chimiques). S'ajoute à ces risques l'association dans les systèmes aquatiques de multiples polluants, qui peuvent se conjuguer (« effet cocktail ») en créant de nouveaux problèmes pour les organismes vivants. En outre, les micropolluants tendent à être persistants : ils ne sont pas parfaitement dégradés par les technologies classiques de traitement. Ils peuvent alors s'accumuler dans les masses d'eau et les sédiments, et les concentrations s'élèvent d'autant. L'augmentation attendue de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, ainsi que les forts débits engendrés par le changement climatique, risquent de remettre en suspension les polluants stockés dans les sédiments.

D'autres approches s'imposent pour venir à bout du problème : réduire la contamination à la source ; moderniser les stations d'épuration existantes en intégrant des formes de traitement complémentaires telles que l'ozonisation ou la filtration sur charbon actif* ; implanter des stations d'épuration décentralisées là où de grands volumes de micropolluants sont à prévoir (hôpitaux, établissements de soins, etc.) ; et mettre au point et diffuser de nouvelles technologies de traitement, allant des capteurs aux nanotechnologies en passant par les traitements hybrides.

Note : * les autorités suisses prévoient de moderniser 100 stations d'épuration, sur 700 en activité.

Eutrophisation des eaux de surface et côtières

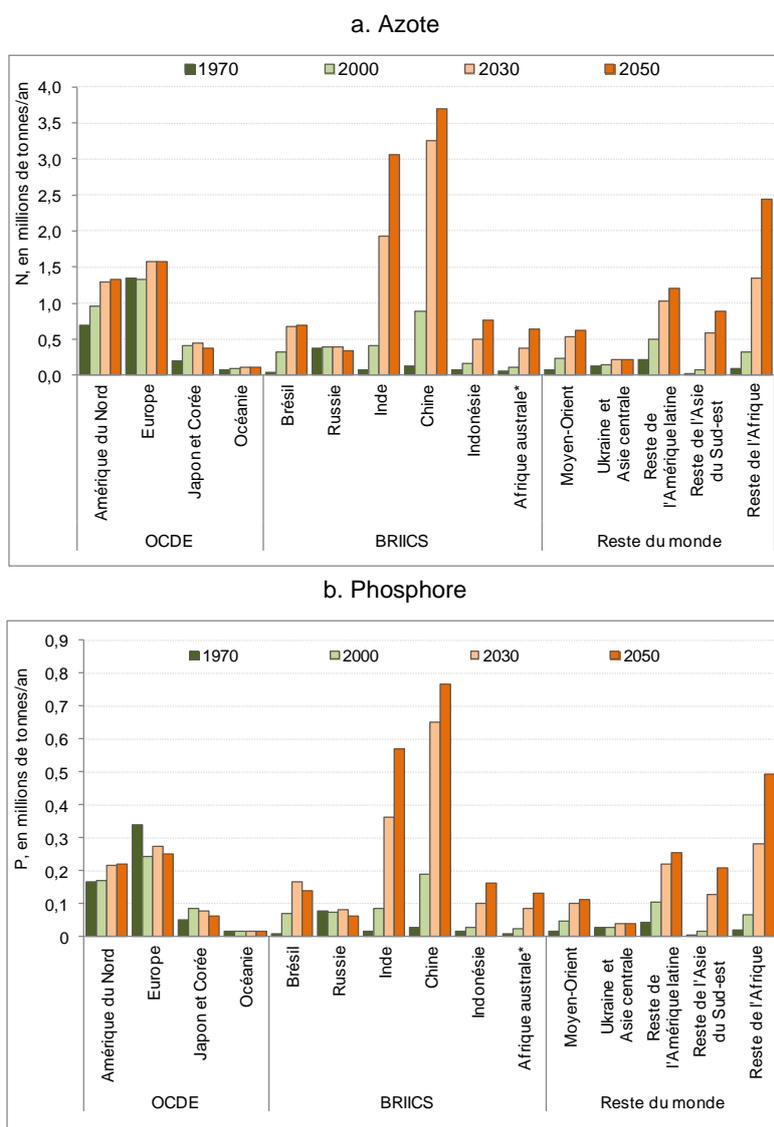
L'eutrophisation se produit dans des masses d'eau en cas d'apport excessif d'éléments nutritifs qui stimulent trop fortement la croissance des végétaux, d'où une raréfaction de l'oxygène et une prolifération algale nocive. Il s'agit d'un phénomène préoccupant, qui appauvrit la biodiversité aquatique dans les cours d'eau, lacs et zones humides, nuit aux utilisations humaines de l'eau (consommation d'eau potable, activités récréatives, pêche, baignade, entre autres exemples) et peut aussi affecter la santé (voir ci-dessous et le chapitre 4 sur la biodiversité). La pollution à l'origine de l'eutrophisation provient de sources fixes (réseaux d'assainissement urbains) et diffuses (ruissellement à partir des terres agricoles, pour l'essentiel). Ces différents aspects sont examinés ci-après.

D'après le *scénario de référence*, l'eutrophisation va augmenter sur la planète dans les vingt prochaines années, puis se stabiliser dans certaines régions (l'OCDE, la Russie et l'Ukraine). Au Japon et en Corée, les excédents d'éléments nutritifs par hectare de terre cultivée atteignent déjà des niveaux élevés. En Chine, en Inde, en Indonésie et dans les pays en développement, les projections indiquent une augmentation de l'eutrophisation après 2030 ; en Chine, cette évolution tient aux éléments nutritifs apportés par les eaux usées, les excédents liés à l'agriculture étant appelés à se stabiliser. Au Brésil, l'eutrophisation va probablement s'aggraver, sous l'effet d'excédents croissants de phosphore d'origine agricole, tandis que le phosphore lié aux eaux usées et les nitrates devraient se stabiliser ou diminuer après 2030.

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

D'après le *scénario de référence*, les effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées devraient suivre une courbe ascendante. Les projections indiquent une progression de 180 % (de 6 millions de tonnes par an environ en 2000 à 17 millions en 2050) dans le cas de l'azote (N) et de plus de 150 % (de 1.3 milliard de tonnes en 2000 à 3.3 milliards en 2050) dans celui du phosphore (P) (figure 5.7). Sont principalement en cause la croissance démographique, l'urbanisation accélérée et l'augmentation du nombre de ménages bénéficiant d'un assainissement amélioré et raccordés aux réseaux d'égouts, que les systèmes de traitement des eaux usées peinent à rattraper. L'élimination des éléments nutritifs par les stations d'épuration devrait s'améliorer rapidement, mais pas assez vite pour compenser la forte augmentation prévue des volumes à traiter.

Figure 5.7. Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées : *scénario de référence*, 1970-2050



1. Dans le modèle IMAGE, l'Afrique australe renvoie à une région géographique englobant dix pays, en plus de la République d'Afrique du Sud, pour les travaux concernant l'utilisation des terres, la biodiversité, l'eau et la santé. Pour la modélisation portant sur l'énergie, la région a été divisée entre, d'une part, l'Afrique du Sud et, d'autre part, le « reste de l'Afrique australe ».

Source : *Scénario de référence des Perspectives de l'environnement* ; résultats du modèle IMAGE.

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

Des excédents d'éléments nutritifs apparaissent en agriculture si les quantités ajoutées pour enrichir les sols dépassent celles qui sont soustraites. Dans le cas de l'azote, ces excédents risquent de s'infiltrer dans les eaux souterraines, de ruisseler des champs vers les cours d'eau ou de diffuser dans l'atmosphère en se transformant en ammoniac (volatilisation). Les processus par lesquels l'azote pénètre dans le sol sont la fixation biologique, les dépôts atmosphériques, l'application d'engrais azotés de synthèse et l'épandage de fumier. L'azote est soustrait du sol par la récolte des cultures et le pâturage. Le phosphore vient du fumier et des engrais. Il suit le même cheminement que l'azote, à une différence près : il s'accumule dans le sol et n'est ni entraîné dans les eaux souterraines ni rejeté dans l'atmosphère (voir l'annexe 5.A1 pour plus de précisions).

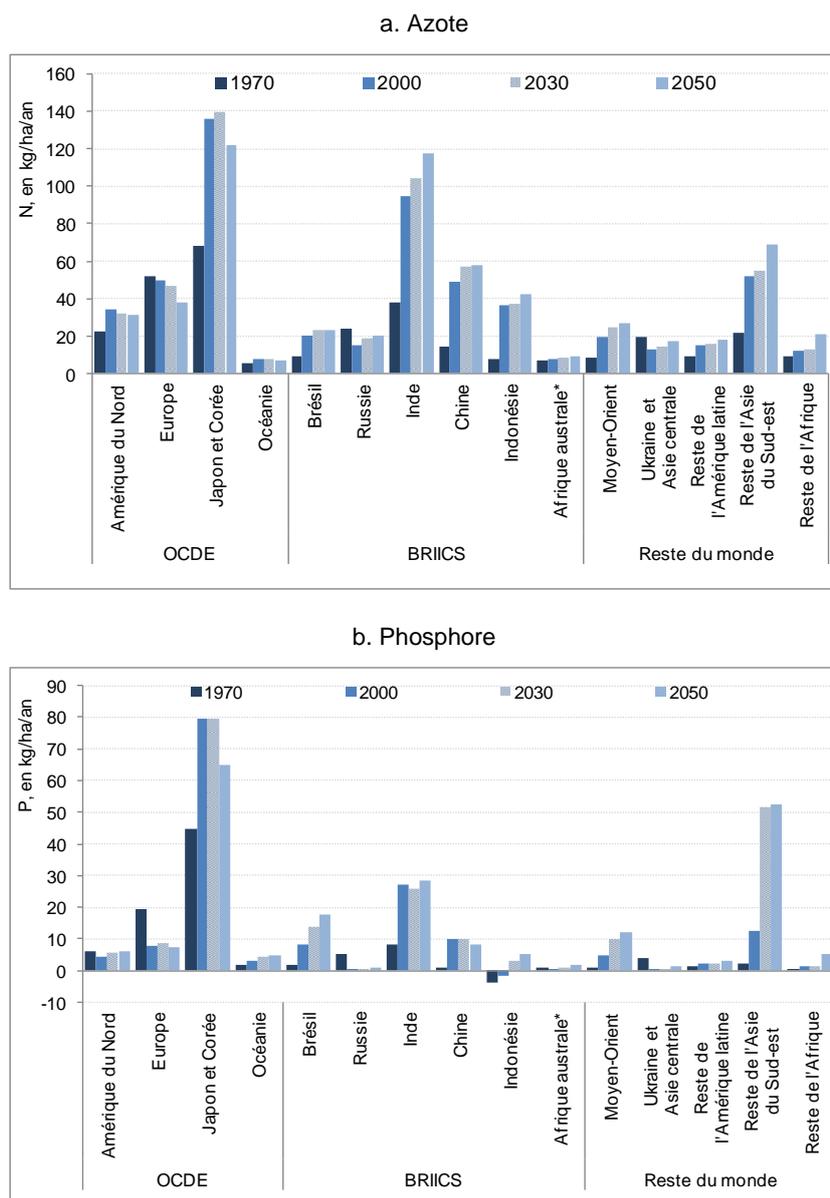
D'après le *scénario de référence*, les excédents d'azote imputables à l'agriculture devraient diminuer dans la plupart des pays de l'OCDE d'ici à 2050 (figure 5.8a). En effet, les progrès en termes d'efficacité d'utilisation des engrais seront sans doute plus rapides que l'accroissement de la production. En Chine, en Inde et dans la plupart des pays en développement, une tendance inverse est à prévoir : les excédents d'azote par hectare sont appelés à s'élever, la production augmentant plus vite que l'efficacité d'utilisation. En Chine et en Inde, la production végétale devrait progresser de plus de 50 % pour la période 2000-2030 et de 10 % à 20 % entre 2030 et 2050. Au Brésil, elle devrait enregistrer un bond de 65 % pour la période 2000-2030, puis de 10 % supplémentaires à l'horizon 2050. Les projections indiquent une augmentation de plus de 75 % de la production brésilienne de soja et autres légumineuses pour la période 2000-2030, suivie d'une stabilisation à l'horizon 2050. Elles prévoient dans ce pays une efficacité d'utilisation des engrais azotés élevée et plus ou moins stable pour 2030, car le soja fixe l'azote atmosphérique et ne nécessite guère d'apports d'engrais azotés⁵.

Sur le continent africain (hors Afrique australe), les projections placent l'Afrique du Nord en tête des excédents d'engrais, avec 20 % du total pour l'azote et 40 % pour le phosphore en 2050. En Afrique subsaharienne, les excédents sont plus faibles que dans bien d'autres pays en développement. Du fait que les sols manquent souvent de phosphore, il faut apporter davantage d'engrais pour rétablir et améliorer la fertilité du sol de façon à favoriser la production végétale. Globalement, le *scénario de référence* laisse entrevoir une augmentation de la production végétale africaine entre 2000 et 2050 (comme suit : Afrique du Nord, 150 % ; Afrique de l'Ouest, 375 % ; Afrique de l'Est, 265 %). Il table sur une expansion notable de l'espace agricole et sur des rendements accrus. À défaut d'augmentation des superficies consacrées à l'agriculture, cet essor de la production passe sans doute par le rétablissement et l'amélioration de la fertilité des sols, des progrès techniques et des taux d'application d'engrais plus élevés, surtout dans le cas des engrais phosphatés. Des méthodes d'exploitation plus écologiques seront également indispensables.

Dans la plupart des pays de l'OCDE, les excédents de phosphore par hectare devraient augmenter légèrement dans les vingt prochaines années, puis baisser par la suite (figure 5.8b). En Chine et en Inde, ils devraient aussi diminuer ou se stabiliser, tandis qu'un accroissement est à prévoir dans la plupart des pays en développement et au Brésil. Le phosphore est fixé dans le sol où il s'accumule jusqu'à saturation. Il faut continuer à enrichir le sol jusqu'à ce que le phosphore soit mobilisable par les plantes, ce qui entraîne des apports excédentaires. Les ruissellements augmentent d'autant. Lorsque le sol est saturé en phosphore, le processus de fixation s'arrête, et les apports d'engrais peuvent correspondre plus ou moins aux quantités absorbées par la production végétale. Les excédents peuvent alors tendre vers zéro. Il en va ainsi dans beaucoup de régions agricoles d'Europe. En Chine et en Inde, les sols évoluent rapidement vers la saturation en phosphore, d'où la stabilisation ou la légère baisse des excédents qu'indiquent les projections.

Le Brésil utilise actuellement bien moins d'engrais par unité produite que la plupart des pays de l'OCDE – il devrait lentement se rapprocher des niveaux des pays membres, en enregistrant un accroissement notable de la production végétale. Par ailleurs, il faut signaler que le soja et autres légumineuses ont besoin de grandes quantités de phosphore. Ces deux facteurs expliquent l'augmentation des excédents de phosphore au Brésil.

Figure 5.8. Excédents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture, par hectare – scénario de référence, 1970-2050



1. Dans le modèle IMAGE, l'Afrique australe renvoie à une région géographique englobant dix pays, en plus de la République d'Afrique du Sud, pour les travaux concernant l'utilisation des terres, la biodiversité, l'eau et la santé. Pour la modélisation portant sur l'énergie, la région a été divisée entre, d'une part, l'Afrique du Sud et, d'autre part, le « reste de l'Afrique australe ».

Source : Scénario de référence des Perspectives de l'environnement ; résultats du modèle IMAGE.

Conséquences environnementales

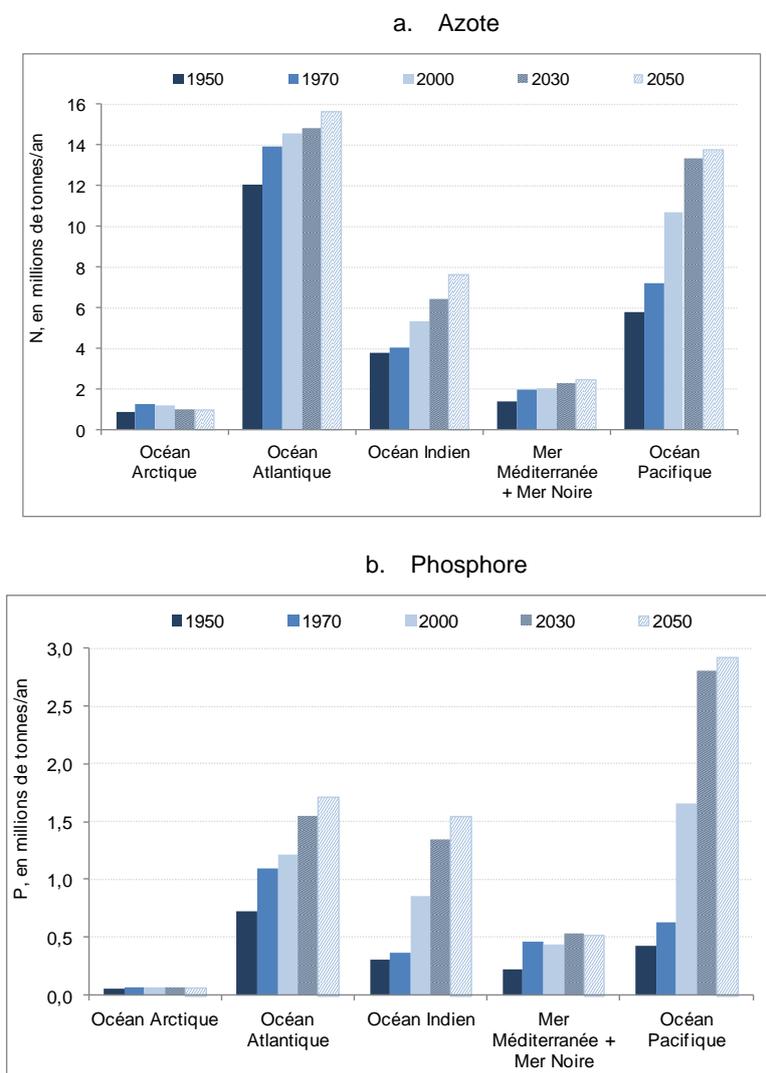
À l'échelle mondiale, on estime que la dégradation de la qualité de l'eau a déjà réduit la biodiversité d'un tiers environ dans les cours d'eau, les lacs et les zones humides, les pertes les plus importantes étant enregistrées en Chine, en Europe, au Japon, en Asie du Sud et en Afrique australe (les calculs sont précisés dans le chapitre 4 sur la biodiversité). D'après le *scénario de référence*, la biodiversité aquatique devrait encore régresser dans les BRIICS et les pays en développement d'ici à 2030, puis se stabiliser (voir le chapitre 4 sur la biodiversité pour un examen plus détaillé). Or cette baisse est sous-estimée, car les incidences des futurs barrages, de l'assèchement de terres gagnées sur les zones humides et du changement climatique n'entrent pas dans la modélisation. Par ailleurs, la surexploitation de certaines ressources en eau et les modifications hydromorphologiques ont porté atteinte aux écosystèmes aquatiques. La fixation et la mise en application de débits fluviaux écologiques minimums, ainsi que le retour à l'état naturel du lit, des berges et du régime d'écoulement des cours d'eau, ont de plus en plus leur place dans la planification environnementale de certains pays de l'OCDE, évolution dynamisée dans l'Union européenne par la directive-cadre sur l'eau (encadré 5.9).

D'après le *scénario de référence*, compte tenu de la charge croissante en éléments nutritifs dans les eaux de surface, le nombre de lacs touchés par la prolifération d'algues nocives aura globalement augmenté de 20 % environ en 2050 par rapport à 2000, l'Asie, l'Afrique et le Brésil étant plus particulièrement affectés. Ces effets devraient être aggravés par le changement climatique et l'élévation de la température de l'eau (Carpenter *et al.*, 1992 ; Mooij *et al.*, 2005 ; Jeppesen *et al.*, 2009).

La fréquence, la durée, l'ampleur et la portée des phénomènes d'appauvrissement en oxygène et de prolifération d'algues nocives vont augmenter d'ici à 2050 selon les projections du *scénario de référence*, car les fleuves apportent toujours plus d'éléments nutritifs dans les mers, notamment dans le Pacifique (figure 5.9). Les rejets de phosphore devraient progresser plus vite que les rejets d'azote et de silicium (figure 5.9b), non sans compromettre l'équilibre naturel des écosystèmes marins près des côtes. La tendance est encore accentuée par la multiplication des barrages partout dans le monde. Du fait que les sédiments chargés en silicium se déposent au fond des réservoirs, la quantité de sédiments charriés en aval diminue, et la concentration de silicium est réduite d'autant. Ce déséquilibre amplifie le risque de prolifération d'algues nocives.

Abstraction faite des eaux usées et de l'agriculture, l'aquaculture entraîne des rejets d'éléments nutritifs de plus en plus abondants. Ceux-ci n'étant pas pris en compte dans le modèle, les projections risquent de sous-estimer les quantités apportées dans les cours d'eau et les mers.

Figure 5.9. Éléments nutritifs rejetés par les cours d'eau dans les mers : scénario de référence, 1950-2050



Source : Scénario de référence des Perspectives de l'environnement de l'OCDE ; résultats du modèle IMAGE.

Accès aux services d'eau et d'assainissement

Tendances actuelles

La cible 7.C des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) est de « réduire de moitié d'ici à 2015 le pourcentage de la population qui n'a pas accès de façon durable à l'eau potable et à des services d'assainissement de base ». Cette section examine le nombre de personnes sans accès à une source d'eau améliorée et à un assainissement de base, selon le Programme commun de surveillance. Cependant, accès à une source d'eau améliorée ne signifie pas forcément accès à une eau potable.

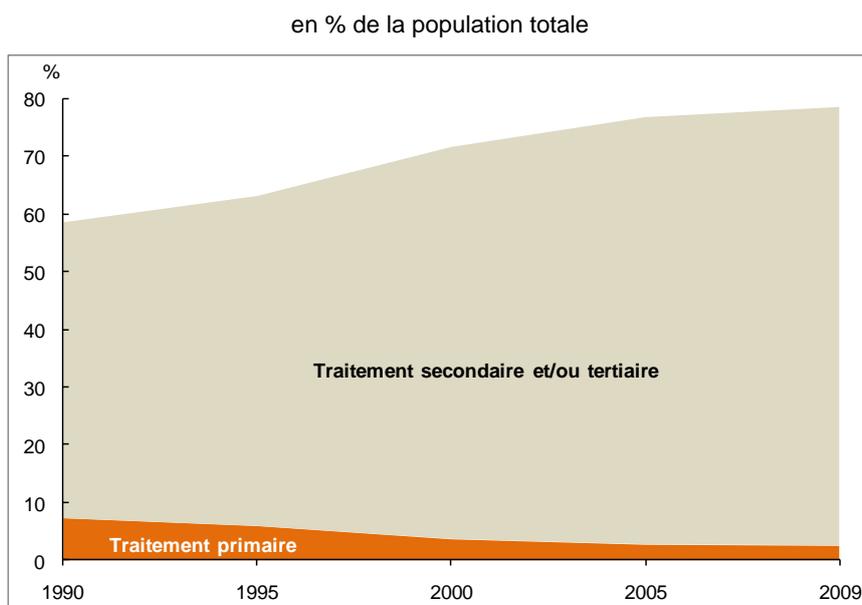
Il ressort du suivi officiel de la cible 7.C des OMD qu'au niveau mondial, le nombre de personnes ayant accès à une source d'approvisionnement en eau améliorée s'est accru de 1.1 milliard en zone urbaine et de 723 millions dans les campagnes entre 1990 et 2008 (Nations Unies, 2011). Il s'agit pour la plupart

d'habitants des BRIICS. Il n'en reste pas moins qu'en 2008, 141 millions de citoyens et 743 millions de ruraux demeuraient tributaires de sources d'approvisionnement en eau non améliorées (Nations Unies, 2011). Qui plus est, le nombre d'habitants des villes dépourvus d'accès à une source améliorée a en fait augmenté entre 1990 et 2008, puisque l'urbanisation a progressé plus vite que les nouveaux raccordements (figure 5.12).

Le suivi officiel montre par ailleurs qu'en 2008, 2,6 milliards de personnes n'avaient toujours pas accès à un assainissement de base. D'après l'Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS ; OMS, 2010)⁶, c'est en Asie du Sud et de l'Est et en Afrique subsaharienne que les personnes sans approvisionnement en eau amélioré ni assainissement de base sont les plus nombreuses. Jusqu'à présent, les efforts visant à accroître les taux de raccordement ont davantage profité aux plus aisés qu'aux pauvres (Nations Unies, 2011). Cette situation entraîne d'énormes risques sanitaires, en particulier pour les individus les plus pauvres, qui sont les plus vulnérables.

Dans les pays de l'OCDE, le pourcentage de la population raccordée à une station d'épuration municipale est passé d'un peu moins de 50 % au début des années 1980 à environ 70 % aujourd'hui (figures 5.10 et 5.11). Pour l'ensemble de l'OCDE, près de la moitié des dépenses publiques de lutte contre la pollution concerne l'eau (assainissement et traitement des eaux usées). Si l'on prend en compte les dépenses du secteur privé, ce domaine représente pas moins de 1 % du PIB dans certains pays.

Figure 5.10. Taux de raccordement aux stations d'épuration dans la zone OCDE, 1990-2009



Note : Cet indicateur présente le pourcentage de la population d'un pays qui est raccordée à une station d'épuration publique, ainsi que le niveau de traitement (primaire uniquement, secondaire et tertiaire – voir définitions ci-après). « Raccordé » signifie ici raccordé physiquement à une station d'épuration par un réseau d'égouts public. Les stations d'épuration non publiques, qui traitent les eaux usées industrielles, ou les installations individuelles privées, comme les fosses septiques, ne sont pas prises en compte. Le taux de raccordement optimal n'est pas nécessairement égal à 100 % ; il peut varier d'un pays à l'autre et dépend des caractéristiques géographiques et de la répartition spatiale des habitats. Le traitement primaire désigne le traitement des eaux usées (urbaines) par un processus physique et/ou chimique de décantation des solides en suspension, ou d'autres processus qui réduisent d'au moins 20 % avant rejet la demande biologique en oxygène (DBO) des eaux usées entrantes et d'au moins 50 % le total des solides en suspension qu'elles contiennent. Le traitement secondaire recourt à un processus le plus souvent biologique pour traiter les eaux usées (urbaines) et passe par une décantation secondaire ou un autre traitement, entraînant l'élimination d'au moins 70 % de la DBO et d'au moins 75 % de la DCO (demande chimique en oxygène). Le traitement tertiaire (qui complète le traitement secondaire) s'attaque à l'azote, au phosphore et/ou à tout autre polluant affectant la qualité ou empêchant une utilisation spécifique de l'eau : pollution microbiologique, coloration, etc. Les efficacités des différents traitements possibles ne s'additionnent pas.

Les données ne tiennent pas compte de l'Australie, du Chili, du Mexique, de la République slovaque et de la Slovaquie.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

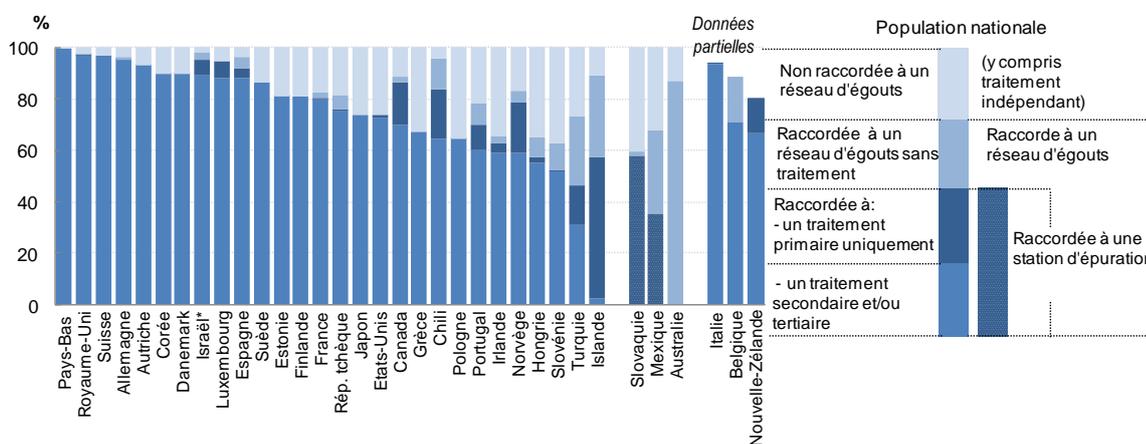
Le pourcentage de la population raccordée à une station d'épuration et le niveau de traitement varient notablement d'un pays de l'OCDE à l'autre (figure 5.11) : le traitement secondaire et tertiaire a ainsi progressé dans certains, tandis que d'autres en sont encore au stade de la construction de réseaux d'égouts ou de stations d'épuration de première génération. À l'avenir, l'élimination des micropolluants nécessitera de nouveaux traitements (encadré 5.4). La gestion des eaux pluviales et des eaux de ruissellement, ainsi que de la pollution qu'elles provoquent, constitue un autre motif de préoccupation. Certains pays ont atteint la limite économique en termes de raccordement au réseau d'égouts et optent pour d'autres solutions non collectives de traitement des eaux usées, surtout pour de petites localités isolées (encadré 5.5).

Encadré 5.5. Le programme ibéro-américain sur l'eau

L'Espagne soutient le programme ibéro-américain sur l'eau, approuvé en 2007 par le Sommet ibéro-américain des chefs d'État et de gouvernement et destiné à appuyer la réalisation des OMD relatifs à l'eau et à l'assainissement en Amérique latine. Ce programme donne lieu à quatre activités : renforcement des capacités, transfert de technologie, consolidation des institutions et soutien à la Conférence des directeurs ibéro-américains pour l'eau (CODIA). Parmi les résultats notables, on note la fondation d'un centre de recherche et d'essais pour les technologies non traditionnelles de traitement des eaux en Uruguay, qui encourage la recherche et le transfert de technologies par l'intermédiaire du dialogue entre les parties prenantes et les pays. Ce type de technopole a pour vocation de mettre à l'essai de nouvelles technologies d'assainissement originales destinées à des petites localités isolées, ainsi que d'identifier les solutions optimales en fonction des conditions climatiques et des polluants à traiter.

Figure 5.11. Part de la population raccordée à une station d'épuration publique dans les pays de l'OCDE

2009 ou dernière année disponible, en % de la population totale



Note : Voir la note de la figure précédente.

1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

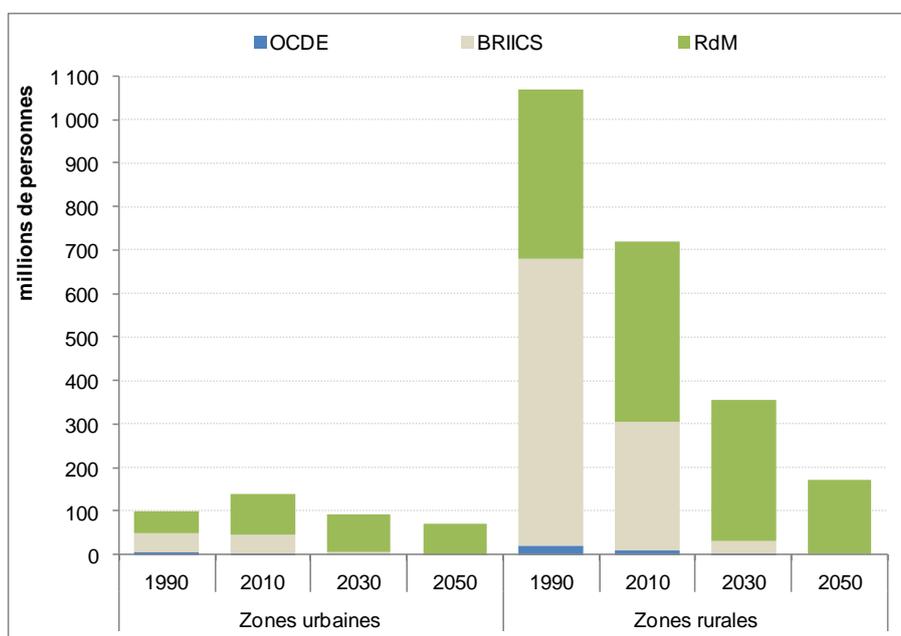
Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

Évolution future

D'après le *scénario de référence*, tous les BRIICS assureront un accès universel à un approvisionnement en eau amélioré avant 2050 (figure 5.12)⁷. Les taux de raccordement devraient s'accroître sous l'effet de la hausse du niveau de revenu et de la poursuite de l'urbanisation, qui facilite l'élargissement de la couverture des réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement. En revanche, dans les pays en développement (RdM), les progrès devraient être beaucoup plus lents. D'après les estimations des Nations Unies, 85 % de la population vivant dans les régions en développement aura vraisemblablement accès à une source d'eau potable améliorée en 2015, contre 70 % en 1990 (Nations Unies, 2011). L'OMD qui prévoit de diviser par deux le nombre de personnes n'ayant pas accès à un approvisionnement en eau amélioré entre 1990 et 2015 devrait être atteint dans la plupart des régions, mais pas en Afrique subsaharienne.

Cependant, ce succès apparent peut être trompeur, et ce pour trois raisons. Premièrement, des progrès rapides ont été observés dans les zones rurales et cette tendance devrait se prolonger d'après le *scénario de référence des Perspectives de l'environnement*, mais le nombre absolu de ruraux dépourvus d'accès est toujours préoccupant (figure 5.12). Deuxièmement, comme évoqué ci-avant, le nombre de citadins sans accès à un approvisionnement en eau amélioré a en fait augmenté entre 1990 et 2008, car le développement des services n'a pas suivi le rythme de la croissance des villes. Troisièmement, enfin, l'indicateur des OMD – c'est-à-dire la « proportion de personnes qui utilisent des sources d'eau potable améliorées » – ne rend pas nécessairement compte de l'accès à une eau *potable*, qui a été reconnu comme un droit de l'homme fondamental par les Nations Unies en 2010 (voir la section 5.3 pour plus de détails). Les travaux de l'OCDE l'ont amplement démontré, notamment ceux concernant l'Europe orientale, le Caucase et l'Asie centrale (EOCAC ; voir OCDE, 2011d).

Figure 5.12. Nombre de personnes n'ayant pas accès à une source d'eau améliorée : scénario de référence, 1990-2050

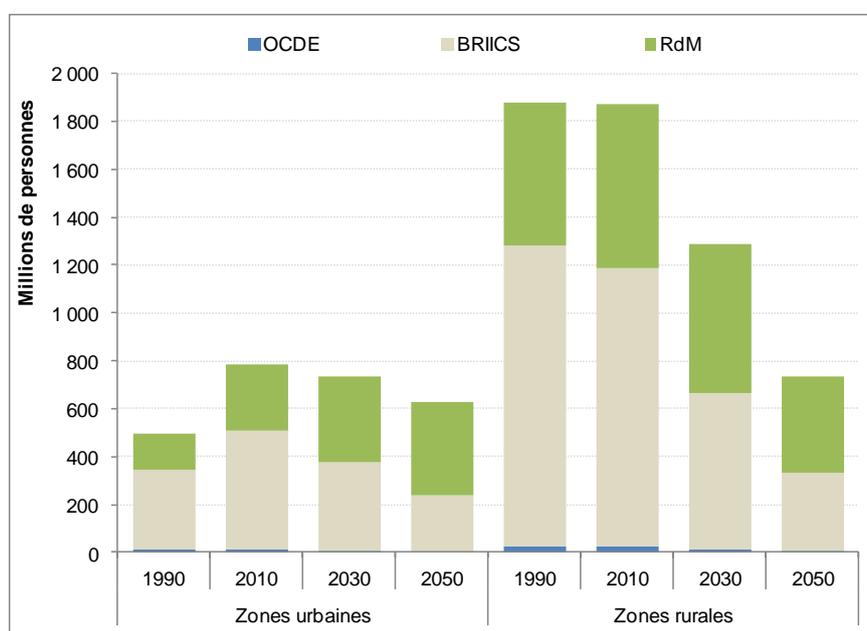


Source : Scénario de référence des Perspectives de l'environnement de l'OCDE, résultats du modèle IMAGE.

D'après le *scénario de référence*, le nombre de personnes n'ayant pas accès à un système d'assainissement de base devrait se maintenir à 2.5 milliards à l'horizon 2015 et être encore de près de 1.4 milliard en 2050. Il devrait s'agir à 60 % de personnes vivant ailleurs que dans les pays de l'OCDE et les BRIICS (figure 5.13). Dans ces conditions, il est vraisemblable que la cible des OMD relative à l'assainissement ne sera pas atteinte en Afrique subsaharienne et dans un certain nombre de pays d'Asie.

Comme l'illustrent les figures 5.12 et 5.13, la grande majorité des personnes n'ayant pas accès à l'eau et à l'assainissement à l'heure actuelle vivent en milieu rural. Selon les projections, cette tendance devrait se poursuivre jusqu'en 2050, date à laquelle le nombre de ruraux sans accès à l'assainissement devrait être comparable à celui des citadins se trouvant dans cette situation.

Figure 5.13. Nombre de personnes n'ayant pas accès à des installations sanitaires de base : scénario de référence, 1990-2050



Source : Scénario de référence des Perspectives de l'environnement de l'OCDE, résultats du modèle IMAGE.

Ces chiffres sont inquiétants, et on ne saurait trop insister sur les conséquences de l'inaction face à la nécessité d'accélérer les avancées en la matière. Les implications pour la santé, notamment, sont bien documentées. On estime ainsi que l'eau insalubre, l'assainissement inadéquat et le manque d'hygiène coûtent la vie à 2.2 millions d'enfants de moins de 5 ans chaque année à travers le monde. Sur ce nombre, 1.5 million décèdent de maladies diarrhéiques, deuxième cause de morbidité dans le monde. L'impact en termes de décès (mortalité) de ces maladies chez les enfants de moins de 15 ans est plus important que l'impact combiné du VIH et du sida, du paludisme et de la tuberculose (voir le chapitre 6 sur la santé et l'environnement).

La non-réalisation de l'objectif concernant l'assainissement sera également lourde de conséquences pour la qualité de l'eau. L'épuration des eaux usées progresse moins vite que leur collecte, d'où l'apparition de nouvelles sources d'éléments nutritifs et d'agents pathogènes qui sont rejetés dans

l'environnement sans être traités. Les répercussions de cette situation sur l'environnement ont été examinées plus haut dans la section sur la qualité de l'eau.

5.3. Action publique : scénarios actuels et à venir

Cette section commence par passer en revue les instruments dont disposent aujourd'hui les pouvoirs publics pour gérer les ressources en eau et développer les services d'eau et d'assainissement, en illustrant l'exposé par des exemples d'avancées réalisées récemment par les pays de l'OCDE dans leur application. Elle examine ensuite trois simulations effectuées à partir de modèles afin d'analyser d'autres scénarios d'avenir en matière d'utilisation efficiente de l'eau, de réduction des éléments nutritifs et d'amélioration de l'accès à une eau salubre et à l'assainissement.

Inventaire des instruments de la politique de l'eau

Les pays de l'OCDE ont adopté toute une série d'outils pour relever les défis auxquels ils sont confrontés dans le domaine de l'eau, dont des approches réglementaires, des instruments économiques, des outils fondés sur l'information et d'autres moyens d'action (tableau 5.1).

Tableau 5.1. Principaux instruments de gestion des ressources en eau

Approches réglementaires (mesures contraignantes)	Instruments économiques	Instruments d'information et autres
Normes de qualité de l'eau (eau de boisson, qualité ambiante, eaux à usage récréatif, rejets industriels, par ex.)	Redevances (de prélèvement ou de pollution, par ex.) Tarification (des services de l'eau, par ex.) Paiement des services de bassin (protection des captages en amont, par ex.)	Comptage de la consommation d'eau Éco-étiquetage et certification (agriculture, appareils ménagers économes en eau, par ex.)
Normes de performances	Réforme des subventions dommageables pour l'environnement (soutien agricole lié à la production, subventions énergétiques pour le pompage de l'eau, par ex.)	Accords volontaires sur le rendement d'utilisation de l'eau entre les entreprises et les pouvoirs publics
Encadrement ou interdiction de certaines activités ayant un impact sur les ressources en eau (activités polluantes dans les bassins hydrographiques, interdiction des détergents phosphatés, par ex.)	Subventions (investissements publics dans les infrastructures, tarification sociale de l'eau, par ex.)	Mesures de promotion/sensibilisation/formation en faveur de pratiques agricoles écologiques ou de technologies d'irrigation améliorées
Autorisations de prélèvement et de rejet Droits sur l'eau	Quotas et droits sur l'eau négociables	Initiatives partenariales et accords de coopération visant à améliorer les réseaux d'eau, par ex. entre agriculteurs et compagnies des eaux
Règlements d'occupation des sols et zonage (obligation d'établir des zones tampons pour l'emploi de pesticides, par ex.)	Mécanismes d'assurance	Outils de planification (plans de gestion intégrée des bassins hydrographiques, par ex.) Analyse coûts-avantages des politiques de gestion de l'eau

Approches réglementaires

Afin de protéger la santé humaine, la plupart des pays ont instauré des normes de qualité de l'eau ambiante modulées selon les différents usages : boisson, activités récréatives ou baignade, par exemple. Des normes de qualité s'appliquent aussi aux rejets des réseaux d'égouts municipaux et des stations d'épuration, des industries et des centrales électriques.

Ainsi, l'Australie dispose d'orientations nationales sans caractère obligatoire (définies dans la *National Water Quality Management Strategy*) qui peuvent être intégrées dans la législation au niveau fédéral ou des territoires, et donc faire l'objet d'une réglementation à ces niveaux. Dans l'UE, selon les données à long terme des stations de surveillance (Eionet), les concentrations de phosphore et de nitrates relevées dans l'eau douce sont en recul depuis quelques années (1992-2008), essentiellement grâce à l'amélioration du traitement des eaux usées et à l'interdiction des détergents phosphatés.

Droits sur l'eau⁸

Les droits sur l'eau modernes précisent le volume d'eau qui peut être prélevé par leur détenteur dans une masse d'eau. Il peut s'agir d'un volume fixe ou d'une proportion de l'eau disponible. Dans la plupart des pays où ils sont explicitement définis, ces droits sont attachés à la propriété foncière. Les pays commencent toutefois à acquérir une certaine expérience du dégroupage et de la gestion séparée des deux, ce qui ouvre des possibilités de redéploiement flexible des droits sur l'eau. De fait, ces droits peuvent constituer pour les pouvoirs publics un instrument efficace pour réaffecter l'eau au profit des usages qui présentent le plus de valeur (qu'il s'agisse de cultures de valeur ou d'usages industriels particuliers).

Les droits sur l'eau sont soumis à une série de conditions, notamment au paiement de redevances. Toutefois, dans la pratique, les détenteurs de droits peuvent se considérer lésés en cas de prix élevé de l'eau. En outre, les droits sur l'eau sont négociables dans certains pays ou régions et ils ont généralement une durée limitée, ce qui permet de concilier sécurité des droits et flexibilité de l'allocation d'eau.

Pour que les droits sur l'eau puissent être utilisés comme un moyen d'action par les pouvoirs publics, ils doivent le plus souvent être réformés de façon à confier à l'État la propriété et le contrôle de l'eau. Cette démarche peut susciter l'opposition des détenteurs de droits et de ceux qui cherchent à se constituer une rente. Il convient donc de réfléchir à des processus adaptés ainsi qu'à des mesures de compensation.

Les importantes questions de fond soulevées par les droits sur l'eau sont illustrées par un certain nombre d'évolutions récentes. En premier lieu, on observe une multiplication des baux fonciers conclus entre des économies à croissance rapide, qui ont besoin de garantir leurs approvisionnements alimentaires, et des États plus pauvres qui possèdent des terres fertiles et des réserves d'eau (FEM, 2011) ; dissocier les droits sur l'eau de la propriété foncière dans les seconds permettrait de s'assurer que leurs besoins nationaux en eau sont satisfaits, mais cela pourrait entraîner des tensions avec les nouveaux acquéreurs. En second lieu, il y a un risque de voir une partie des droits sur l'eau faire l'objet d'achats spéculatifs. Pour lutter contre ce risque, plusieurs États d'Australie interdisent ou plafonnent la détention de droits sur l'eau par des personnes qui ne possèdent pas ou n'occupent pas de terrain, ou limitent la proportion de droits sur un captage donné qui peut être détenue par des utilisateurs non-agriculteurs. En conséquence, les marchés de l'eau sont souvent inaccessibles aux utilisateurs urbains (Ekins et Salmons, 2010). En troisième lieu, la réaffectation de l'eau peut avoir des conséquences négatives pour les tiers, qu'il convient de réduire au minimum. Il importe notamment de tenir compte des besoins de l'environnement, par exemple en veillant à l'existence de réserves écologiques minimales.

Les droits négociables sur les éléments nutritifs, qui visent à atténuer la pollution par ces éléments, sont une variante des droits négociables sur l'eau. L'exemple du Lac Taupo en Nouvelle-Zélande illustre bien comment un mécanisme de droits négociables peut réduire le ruissellement d'éléments nutritifs dans les lacs et aider à restaurer la qualité de l'eau (voir encadré 5.6).

**Encadré 5.6. Droits négociables destinés à réduire les flux d'éléments nutritifs :
le cas du Lac Taupo en Nouvelle-Zélande**

Le lac Taupo est le plus grand lac d'eau douce de Nouvelle-Zélande et constitue une importante zone de pêche. Les autorités régionales ont pris des mesures pour réduire les apports d'éléments nutritifs dans ses eaux afin de préserver et d'améliorer leur qualité. En l'occurrence, elles ont décidé de mettre en place un système de plafonnement et d'échange en procédant par étapes :

1. Définition du « plafond » – la charge en éléments nutritifs à ne pas dépasser pour préserver la qualité des eaux du lac.
2. Détermination des acteurs du marché – ceux qui rejettent le plus d'éléments nutritifs dans le bassin du lac.
3. Attribution de permis de pollution par les éléments nutritifs aux principaux acteurs.
4. Échange de permis – ce qui implique l'existence d'un marché et la définition d'un prix.
5. Surveillance du respect des dispositions.

Ce système permet de s'assurer que toute augmentation d'éluviation de nitrates est compensée par une réduction correspondante et équivalente à l'intérieur du bassin du Lac Taupo. L'objectif est de réduire la charge d'azote de 20 %. Les exploitations agricoles représentent plus de 90 % des apports maîtrisables d'azote dans le lac, de sorte que les agriculteurs sont les principaux acteurs du système. Un autre acteur clé est le *Lake Taupo Protection Trust*, organisme administrant un fonds de protection de la qualité des eaux du lac, qui sera en mesure d'acheter des permis de rejet d'azote et/ou des terres agricoles.

Les permis sont au départ attribués en fonction de la densité de pâturage, de la production de viande et de laine, de l'utilisation d'engrais et d'autres paramètres vérifiables, pour une période de cinq ans et en se fondant sur les prévisions d'éluviation de l'azote réalisées à l'aide du modèle *Overseer®* (modèle informatique servant à calculer et estimer les flux d'éléments nutritifs dans un système de production agricole). Une fois ce processus terminé, chaque agriculteur reçoit une autorisation indiquant la quantité fixe d'azote qu'il est autorisé à rejeter (en tonnes par an).

D'une année sur l'autre, les agriculteurs peuvent modifier leurs pratiques agricoles, à condition que leurs ruissellements (d'après les prévisions d'*Overseer®*) n'excèdent pas le plafond de rejet d'azote autorisé. Si un agriculteur veut augmenter sa production, il doit acheter des droits de rejet d'azote à un autre agriculteur qui souhaite réduire la sienne. Lorsque les deux agriculteurs sont parvenus à un accord, leurs droits de rejet respectifs sont adaptés en conséquence, à la hausse pour l'un et à la baisse pour l'autre.

Source : d'après Rutherford K., T. Cox (2009), "Nutrient Trading to Improve and Preserve Water Quality", *Water & Atmosphere*, 17(1).

Tarification de l'eau

Une tarification appropriée de l'eau et des services correspondants crée des incitations à réduire le gaspillage, à moins polluer, à investir davantage dans les infrastructures de l'eau et à attribuer une valeur aux services fournis par les bassins hydrographiques. La tarification de l'eau peut servir quatre objectifs :

1. à l'instar des incitations fiscales et des transferts, elle dégage des moyens pour financer les dépenses d'investissement et les coûts d'exploitation et d'entretien ;
2. elle aide à répartir l'eau entre usages concurrents ;

3. elle sert à gérer la demande et à dissuader les usagers d'épuiser les ressources ;
4. des tarifs appropriés permettent d'assurer un accès adéquat et équitable à l'eau et aux services de l'eau.

Les pays de l'OCDE s'efforcent aujourd'hui de mieux tenir compte des coûts et des externalités des usages domestiques et industriels de l'eau (OCDE, 2010a), comme en témoignent le niveau plus élevé des prix (qui ont parfois augmenté de manière significative sur la dernière décennie) et l'évolution de la structure des tarifs (qui reflète mieux les coûts liés à la consommation et au traitement).

Ils ont par ailleurs acquis une certaine expérience dans l'application de redevances de prélèvement, de redevances de pollution ou sur les rejets et d'autres instruments économiques, tels que les droits sur l'eau négociables ou les paiements pour services de bassin, ce qui leur permet de renforcer l'efficacité économique, l'équité sociale et la viabilité écologique des prélèvements d'eau et de l'allocation entre usages concurrents.

- Les pouvoirs publics appliquent souvent des redevances de prélèvement dans le but de lever des financements pour la gestion des ressources en eau ou pour les activités de protection des bassins hydrographiques, mais ces redevances ne tiennent pas souvent compte de la rareté de l'eau et sont en général relativement modestes. Les taxes de prélèvement d'eaux souterraines ont tendance à être plus lourdes que celles qui frappent les prélèvements d'eaux de surface. Dans la plupart des cas, ces redevances sont perçues et gérées par les autorités locales.
- Il est possible de moduler les redevances de pollution en fonction de diverses caractéristiques du pollueur, des effluents ou des eaux réceptrices. Dans la plupart des cas, ces redevances sont perçues au niveau local, mais rarement à celui du bassin hydrographique, et dévolues au financement d'activités environnementales. Dans certains pays, les recettes collectées auprès des bénéficiaires en aval servent à indemniser les habitants en amont pour les restrictions que leur impose la réglementation foncière, ce qui constitue une étape importante vers une gestion des eaux et de l'aménagement du territoire véritablement intégrée au niveau des bassins hydrographiques.

Les prix de l'eau à usage agricole ont augmenté dans les pays de l'OCDE. Cependant, bien souvent, ils couvrent seulement les coûts d'exploitation et d'entretien, tandis que les coûts d'investissement dans l'infrastructure d'irrigation ne sont que peu, voire pas du tout, récupérés. Il est peu fréquent que les prix de l'eau prennent en compte la rareté et les coûts environnementaux, ce qui tient souvent à la crainte de voir leur relèvement nuire à la compétitivité des agriculteurs sur les marchés mondiaux. Néanmoins, dans les pays qui ont augmenté les tarifs de l'eau payés par les agriculteurs, les données disponibles ne font apparaître aucune baisse de la production agricole (OCDE, 2010c). Les politiques de tarification de l'eau à usage agricole sont souvent associées à d'autres instruments (de réglementation), comme les seuils et permis de prélèvement.

La tarification appliquée aux ménages pour les services d'eau et d'assainissement varie considérablement d'un pays de l'OCDE à l'autre (figure 5.14), ce qui témoigne de l'inégalité des efforts déployés pour récupérer le coût des services via les prix. Les données montrent que, dans la moitié des pays, les services de traitement des eaux usées peuvent être plus onéreux que les services d'eau potable. Elles confirment également que les prix ont progressé durant la décennie écoulée (quoiqu'à un rythme parfois moins soutenu ces dernières années), en raison surtout du relèvement des redevances de traitement des eaux usées, qui ont été alignées sur les coûts de l'investissement nécessaire à une mise en conformité avec les normes environnementales (passage au traitement tertiaire, par exemple). La taxe sur la valeur ajoutée (TVA) ainsi que les autres taxes expliquent aussi en partie cette augmentation.

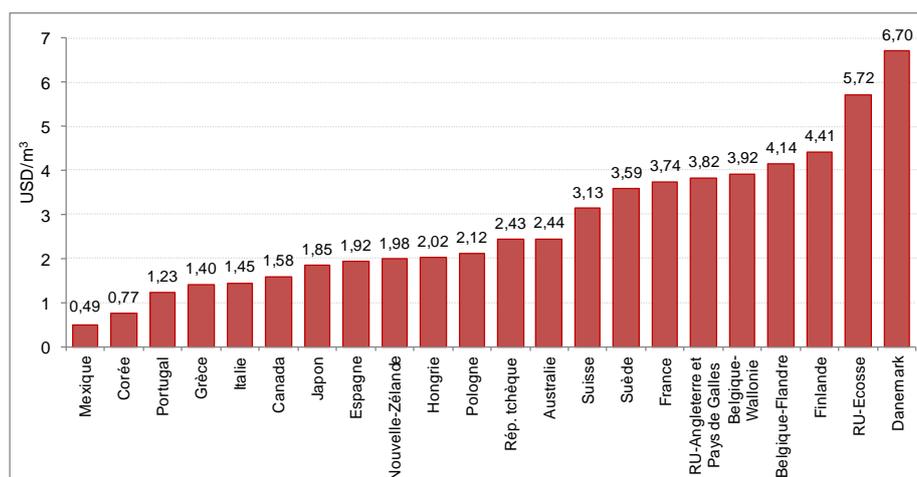
La structure des tarifs de distribution de l'eau varie à la fois entre les pays de l'OCDE et au sein même de ces pays, en fonction du degré de décentralisation du processus de fixation des tarifs. Plusieurs études de l'OCDE constatent qu'au fil des ans, de moins en moins de pays appliquent des structures tarifaires dégressives par tranches et un tarif fixe. Dans certains pays, la tendance est aujourd'hui à l'application de redevances comportant une part fixe et une part dépendant du volume de consommation d'eau, ou à l'alourdissement progressif de la part fixe dans la facture d'eau.

De plus en plus de pays instaurent des redevances d'assainissement pour couvrir le coût de gestion des eaux usées. Dans la plupart des cas, les redevances de collecte et de traitement des eaux usées sont perçues séparément, même si la base de calcul reste le plus souvent la consommation d'eau, et si seul le montant du tarif volumétrique diffère.

Un certain nombre d'enseignements ont été tirés concernant les conséquences sociales des politiques de tarification de l'eau. Lorsque les prix de l'eau sont bas, ce sont les populations pauvres qui en pâtissent le plus, car les compagnies des eaux sont alors privées des moyens financiers nécessaires pour développer leur réseau, de sorte que les plus démunis n'ont pas d'autre choix que de s'approvisionner en eau de mauvaise qualité auprès de revendeurs privés. Les tarifs de l'eau peuvent être structurés de façon à tenir compte des besoins fondamentaux de tous les segments de la population. Cela étant, il est plus efficace de poursuivre les objectifs sociaux au moyen de mesures ciblées telles que des politiques d'aide au revenu. Dans le cadre de la conception de telles mesures, le ciblage et le maintien des coûts de transaction à un niveau peu élevé sont des critères essentiels.

Pour les usagers industriels, la tarification des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement n'est pas tout à fait la même que pour les particuliers. Par exemple, davantage de pays et de régions appliquent des tarifs dégressifs par tranches à ces usagers, et en particulier aux gros consommateurs d'eau. La volonté de retenir les gros clients qui procurent localement des recettes substantielles et stables semble freiner le recours à des structures tarifaires qui favoriseraient une réduction de la consommation d'eau. En ce qui concerne la gestion des eaux usées, les données font apparaître un recours accru à des redevances de collecte distinctes des redevances d'épuration, ces dernières étant de plus en plus établies sur la base de la charge polluante des rejets industriels, ce qui reflète mieux le véritable coût du traitement.

Figure 5.14. Prix unitaire des services d'eau et d'assainissement fournis aux ménages dans l'OCDE (taxes comprises), 2007/08



Source : estimations de l'OCDE à partir des réponses communiquées par les pays à l'enquête de 2007-08 ou de données provenant de sources publiques validées par les pays ; voir OCDE (2010a), *Le prix de l'eau et des services d'eau potable et d'assainissement*, Éditions OCDE.

Combiner des instruments d'action : vers un cadre cohérent

Une gestion efficace de l'eau passe par un ensemble cohérent d'instruments combinant réglementation et mécanismes de marché, souvent dans le cadre de plans de gestion complets visant des objectifs bien définis. Les encadrés 5.7 à 5.9 ci-après présentent des exemples tirés de pays de l'OCDE qui illustrent diverses combinaisons possibles de mesures, notamment d'outils économiques (tarification, droits négociables) et de réformes institutionnelles :

- l'initiative nationale pour l'eau de l'Australie (*National Water Initiative*, NWI), qui met largement l'accent sur la planification, la tarification et les échanges de droits sur l'eau,
- la politique adoptée par Israël, qui associe technologies, tarification et comptage de l'eau, et
- la directive-cadre sur l'eau de l'UE, qui met en avant les plans de gestion des bassins hydrographiques et l'efficacité par rapport aux coûts.

L'initiative nationale pour l'eau de l'Australie fait appel à une vaste panoplie de moyens d'action pour traiter différents aspects de la gestion de l'eau. Depuis son lancement en 2004, elle fait régulièrement l'objet d'évaluations et d'ajustements.

Encadré 5.7. L'initiative nationale pour l'eau de l'Australie

Adopté en 2004, l'accord intergouvernemental sur une initiative nationale pour l'eau (*Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative*, NWI) définit le modèle retenu par l'Australie pour réformer son secteur de l'eau. L'objectif global de l'initiative est d'instaurer à l'échelle nationale un système fondé tout à la fois sur les mécanismes de marché, la réglementation et la planification pour gérer les eaux de surface et souterraines à usage rural et urbain, en vue d'optimiser les résultats économiques, sociaux et environnementaux dans tout le pays. L'accord sur la NWI énonce des objectifs, des résultats attendus et des engagements touchant à huit aspects interdépendants de la gestion de l'eau : droits d'accès et planification de l'accès à l'eau, marchés de l'eau et échanges, pratiques optimales de tarification de l'eau, gestion intégrée de l'eau au service de l'environnement, comptabilité des ressources en eau, réforme du secteur urbain de l'eau, développement des connaissances et des capacités, partenariats et ajustements locaux.

Tous les deux ans, les autorités australiennes publient un rapport d'évaluation de la mise en œuvre de la NWI. Ces évaluations portent sur tous les réseaux souterrains et superficiels dans l'ensemble des États et des territoires du pays, qu'ils soient ruraux ou urbains. Celle de 2011 relève que des progrès ont été accomplis depuis le lancement de la NWI en 2004, notamment en ce qui concerne les cadres de planification, les marchés de l'eau et les échanges. Les principales critiques portent sur le rythme des réformes, qui est jugé trop lent et inégal d'une collectivité à l'autre.

Afin de remédier à ce problème et d'autres, l'Australie a étoffé sa législation fédérale en adoptant une loi sur l'eau (*Water Act* de 2007) suivie d'une loi modificative (*Water Amendment Act* de 2008), ainsi que d'autres réglementations relatives à l'eau. Ce cadre réglementaire a débouché sur la création de l'Autorité de gestion du bassin Murray-Darling (MDB), qui a été chargée de préparer un plan stratégique pour assurer une gestion intégrée et durable des ressources en eau du bassin. La loi sur l'eau de 2007 a également conduit à la création du *Commonwealth Environmental Water Holder*, office fédéral chargé de gérer « l'eau écologique » qui est destinée à protéger et restaurer le patrimoine environnemental au sein du bassin Murray-Darling (la plus importante région agricole d'Australie, d'où provient un tiers de l'approvisionnement alimentaire du pays), mais aussi à l'extérieur, là où le Commonwealth possède des ressources en eau.

Les autorités australiennes financent également le plan *Water for the Future* (encadré 5.13), initiative à long terme qui vient compléter la NWI et la loi sur l'eau de 2007 et vise à sécuriser l'approvisionnement en eau de tous les Australiens (moyennant des investissements de 12.9 milliards AUD sur 10 ans).

Sources : site Internet de la Commission nationale de l'eau, www.nwc.gov.au/www/html/117-national-water-initiative.asp ; Australian National Water Commission (2011), *The National Water Initiative - Securing Australia's Water Future: 2011 Assessment*, NWC, Canberra.

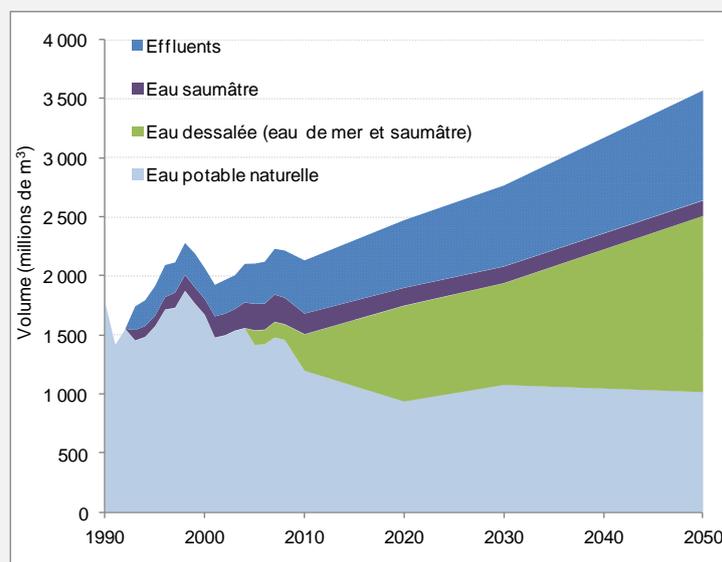
Pour sa part, Israël se caractérise par une intensité de consommation d'eau douce qui est très élevée pour l'OCDE. Cette consommation dépasse les approvisionnements naturels (qui proviennent principalement des précipitations). En outre, le manque d'eau s'est aggravé dans un passé récent en raison de plusieurs cycles de sécheresse qui ont duré plusieurs années et ont conduit à surexploiter les ressources souterraines afin de répondre à la demande croissante d'eau. Les précipitations ont diminué de 9 % depuis 1993 en moyenne, et pourraient encore reculer de 10 % entre 2015 et 2035 si l'on en croit les modèles climatiques. Les perspectives à l'horizon 2050 indiquent que les pressions qui pèsent sur les ressources en eau limitées du pays, tant sur le plan de la quantité que de la qualité, seront amplifiées par l'accroissement démographique et la croissance de l'agriculture (OCDE, 2011c). Dans ces conditions, Israël a mis l'accent dans sa politique de l'eau sur la réduction de la consommation d'eau douce, ainsi que sur le déploiement d'instruments économiques pour gérer la demande et répartir l'eau (figure 5.15).

Encadré 5.8. Réaction des pouvoirs publics face au stress hydrique en Israël

L'objectif national d'Israël est de fournir de manière durable de l'eau à tous les consommateurs, en respectant les critères établis en matière de qualité, de volume, d'efficacité et de faisabilité économique. À cette fin, Israël s'est fixé des objectifs spécifiques en vue de réduire progressivement sa dépendance à l'eau potable naturelle d'ici à 2050. Les principales initiatives prises par les pouvoirs publics visent à faire baisser la demande : i) en imposant par voie législative le comptage de l'intégralité de l'eau distribuée ; ii) en surveillant la réutilisation de l'eau ainsi que l'utilisation d'eau saumâtre dans l'agriculture ; et iii) en favorisant l'irrigation au goutte-à-goutte et la réutilisation d'eaux usées urbaines épurées dans l'agriculture. Les autorités cherchent également à accroître l'approvisionnement en eau potable en construisant de grandes usines de dessalement d'eau de mer.

Par ailleurs, le pays s'attache à faire usage d'instruments économiques. Les tarifs de l'eau ont été sensiblement relevés ou sont sur le point de l'être dans tous les secteurs, tandis que les effluents épurés et l'eau saumâtre sont proposés à un prix plus bas afin d'encourager leur utilisation pour l'irrigation. Chaque année, un quota d'eau potable est alloué à l'agriculture, et les agriculteurs qui décident d'échanger une partie de ce quota contre des sources de substitution bénéficient d'un prix garanti pour leurs approvisionnements en eaux.

Figure 5.15. Perspectives de la consommation d'eau en Israël à l'horizon 2050
par type d'eau



Note : Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Autorité de gestion de l'eau, citée dans OCDE (2011c), *Examens environnementaux de l'OCDE : Israël 2011*, Éditions OCDE.

Dans l'Union européenne, la directive-cadre sur l'eau (DCE) adoptée en 2000 a institué une approche globale de la politique de l'eau. Son principal objectif est de restaurer les masses d'eau de l'Union (eaux de surface, eaux de transition, eaux côtières et eaux souterraines) afin de parvenir à leur bon état écologique et chimique d'ici à 2015. Tout en définissant un cadre d'action souple que les États membres de l'UE sont invités à transposer en fonction de leur législation nationale, elle énonce une série de principes et d'objectifs ambitieux et prône le recours aux instruments économiques.

Encadré 5.9. La directive-cadre sur l'eau de l'UE, une approche par bassin hydrographique

La DCE tient compte de toutes les pressions et de tous les impacts sur le milieu aquatique et intègre des prescriptions énoncées dans d'autres textes législatifs européens relatifs à l'eau. Ses objectifs sont multiples. Les plus importants sont la protection de l'écologie aquatique en général, la protection des habitats uniques et de grande valeur en particulier, la protection des ressources en eau potable et la protection des eaux de baignade. Tous ces objectifs doivent être intégrés au niveau de chaque bassin hydrographique.

La DCE est ambitieuse, mais reste flexible en pratique, car elle n'impose pas un ensemble de mesures universel. Sa mise en œuvre dans les États membres est effectuée en fonction de la législation nationale, et ceux-ci sont libres de fixer leur propre objectif concernant la part des masses d'eau à restaurer d'ici à 2015.

Parmi ses principes clés, la DCE affirme que la gestion de l'eau doit être assurée idéalement au niveau du bassin hydrographique – qui est l'unité géographique et hydrographique naturelle – plutôt que sur la base des limites administratives ou des frontières politiques. Les États membres sont donc tenus d'élaborer des plans de gestion des bassins hydrographiques. Les instruments économiques, dont la tarification de l'eau, jouent un rôle de premier plan dans la DCE. Le but est de parvenir à la récupération des coûts financiers et environnementaux des services de l'eau (principe de la récupération des coûts).

La DCE est complétée par une série d'autres directives sur l'eau (par exemple, la directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, entrée en vigueur le 26 novembre 2007), ce qui appelle une coordination. Dans le cas de la directive sur les inondations, il s'agit de coordonner les plans de gestion des risques d'inondation et les plans de gestion des bassins hydrographiques, ainsi que les procédures de participation du public.

La première phase d'une évaluation menée récemment a révélé que, même si les bonnes mesures sont en place, celles-ci sont parfois difficiles à faire appliquer et vulnérables aux pressions politiques nationales (Deloitte et IEEP, 2011). En outre, il est apparu que de nombreux plans ne prévoyaient pas d'adopter des mesures avant les dernières phases de la transposition de la législation européenne. La mise en place par les États membres d'instruments économiques comme la tarification ne progresse que tout doucement, et le principe de la récupération des coûts demeure controversé (voir Deloitte, IEEP, 2011).

Le cas de l'eau à usage agricole

Pour nourrir une population mondiale toujours plus nombreuse, il sera nécessaire d'accroître la production agricole de la planète d'environ 70 % entre 2005 et 2050 (FAO, 2006 ; Bruinsma, 2009). Comme le montre le *scénario de référence* des Perspectives de l'environnement de l'OCDE, il faudra probablement y parvenir alors que le volume d'eau disponible aura diminué, essentiellement en raison des pressions exercées par l'urbanisation et l'industrialisation croissantes, et peut-être aussi par le changement climatique.

Il est donc urgent d'adopter des technologies d'irrigation efficaces, par exemple des installations goutte-à-goutte, et de mieux entretenir l'infrastructure d'irrigation. Les travaux de l'OCDE sur le transfert de technologies respectueuses de l'environnement ont permis de constater que les mécanismes de transfert ont un impact d'autant plus bénéfique qu'ils développent les capacités d'absorption des technologies dans

les économies cibles (voir OCDE, 2011f) ; l'éducation et la formation revêtent donc une importance capitale.

Dans certaines parties de la zone OCDE, l'utilisation de l'eau est devenue plus efficace et les fuites ont été réduites – globalement, la quantité moyenne d'eau appliquée par hectare irrigué a baissé de 9 % entre 1990 et 2003 (OCDE, 2010c). Les plus fortes baisses ont été observées en Australie, et à un degré moindre au Mexique, en Espagne et aux États-Unis. En revanche, dans d'autres pays, dont la Grèce, le Portugal et la Turquie, la consommation d'eau d'irrigation rapportée à la superficie irriguée augmente (OCDE, 2008b).

Des mesures doivent être prises pour rendre plus efficace la gestion des ressources en eau dans l'agriculture tout en répondant à la demande mondiale croissante de produits alimentaires et aux effets du changement climatique (OCDE, 2010c). En l'occurrence :

- il est impératif de renforcer les institutions et les droits sur l'eau ;
- les tarifs de l'eau à usage agricole doivent tenir compte du coût d'approvisionnement, de la rareté, de la valeur sociale de l'eau et des coûts et avantages environnementaux. Ces derniers sont généralement traités au moyen d'autres mesures, notamment des paiements agro-environnementaux, des taxes de pollution et des mécanismes d'allocation de l'eau (encadré 5.10). Dans certains pays, la politique de l'eau est guidée par le principe de récupération totale des coûts (c'est-à-dire la couverture de tous les coûts financiers et environnementaux des services de l'eau par le produit de la tarification). À cet égard, les échanges de droits sur l'eau permettent d'attribuer un prix à la rareté et de favoriser l'usage de la ressource qui a la plus forte valeur. Une telle démarche risque cependant d'aller à l'encontre du souci de sécurité alimentaire et requiert donc un débat éclairé et transparent pour une mise en œuvre efficace. La question des échanges doit être prise en compte, dans la mesure où la libéralisation des échanges de produits agricoles peut renforcer la sécurité alimentaire et protéger l'environnement ;
- il faut améliorer la résilience de l'agriculture face au changement climatique, en élaborant des stratégies pour adapter les systèmes de production agricole. Celles-ci sont susceptibles d'être plus efficaces si elles s'inscrivent dans des stratégies de long terme étroitement liées à l'action des pouvoirs publics en matière de réforme des politiques agricoles et de gestion des risques.

Encadré 5.10. Réforme du soutien agricole et des politiques de l'eau : le cas de l'Union européenne

Jusqu'en 2005, la politique agricole de l'UE (la politique agricole commune ou PAC) était fondée sur des paiements directs aux exploitants encourageant la production, qui allaient de pair avec des paiements agro-environnementaux facultatifs visant à protéger et améliorer l'environnement. On estime généralement que cette politique a favorisé une forte expansion de la production agricole, et qu'elle a permis aux exploitants d'accroître cette production par des moyens peu favorables à l'environnement, comme l'application inconsidérée d'engrais et de pesticides, ce qui a eu de graves conséquences pour l'environnement. À la suite du remaniement complet du système de paiements opéré en 2004, l'environnement est aujourd'hui au centre de la politique agricole. Ainsi, les paiements sont désormais liés entre autres à l'application d'un certain nombre de normes environnementales strictes, en vertu du principe d'éco-conditionnalité, de sorte que les exploitants qui ne les respectent pas voient leurs subventions baisser.

Auparavant, de nombreuses productions végétales qui nécessitent beaucoup d'eau ont été encouragées par la PAC au sein de l'Union européenne. Par exemple, les producteurs de maïs de l'UE ont eu droit jusqu'en 2003 à une subvention directe de 54 EUR/tonne, bien que le maïs soit considéré dans les pays tempérés comme une culture grosse consommatrice d'eau. La nouvelle politique de découplage des paiements a permis de lever cette incohérence et évite que les agriculteurs utilisent l'eau en fonction de différences de subventions entre les cultures. Garrido et Varela-Ortega (2008) rapportent une évolution progressive mais régulière de la répartition des terres entre cultures irriguées en Espagne depuis la réforme de la PAC. Les changements les plus importants sont la progression de la culture de la vigne, des oliviers et des agrumes dans les régions relativement arides (en particulier en Andalousie), et

le développement des productions végétales nécessitant davantage d'eau, comme le maïs, et des cultures dont le régime d'aide a été modifié, comme la betterave à sucre, le coton et le tabac, dans les régions qui reçoivent plus de précipitations.

Lorsque les subventions agricoles de l'UE seront entièrement découplées de la production, en 2012, l'économie de l'irrigation sera davantage déterminée par la productivité des cultures et leurs besoins en eau que par le soutien agricole disponible.

Sources : d'après OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE ; Calatrava J et A. Garrido (2010), *Agricultural Water Pricing: EU and Mexico*, rapport de consultants auprès de l'OCDE, disponible à l'adresse : www.oecd.org/eau.

« L'eau virtuelle » : un concept qui présente des limites dans l'optique de l'action des pouvoirs publics

Les concepts d'« eau virtuelle » et d'« empreinte eau » ont suscité beaucoup d'intérêt en tant que moyen de sensibiliser à la rareté de l'eau, aux répercussions de la production et de la consommation de biens sur les ressources en eau, ainsi qu'aux problèmes de répartition de l'eau. Cependant, ces indicateurs ont une utilité limitée en tant qu'instruments d'action ou de gestion, car ils ne prennent en compte ni le coût d'opportunité de l'eau dans la production, ni les autres intrants (dont le travail), ni la distinction entre gestion des ressources en eau et qualité de l'eau. Il conviendrait de les associer à d'autres indicateurs dans le cadre d'objectifs plus larges visant, par exemple, à réduire la pauvreté, à stimuler le développement économique ou encore à garantir un taux d'emploi élevé tout en préservant les ressources naturelles (encadré 5.11). En outre, un travail plus poussé de mise au point des modes de calcul de l'empreinte eau leur serait assurément profitable.

Une analyse récente confirme que « les transferts d'eau virtuelle sont très inégaux, mais ne représentent qu'un faible volume par rapport à la totalité des besoins en eau » (Seekel *et al.*, 2011). Ses auteurs concluent que « les transferts d'eau virtuelle ne suffisent pas à répartir de manière égale la consommation d'eau entre les pays, avant tout parce que la consommation intérieure d'eau à des fins agricoles, premier facteur d'inégalité, domine les besoins en eau des pays et ne peut être complètement compensée par les volumes actuels des transferts d'eau virtuelle ».

Encadré 5.11. Analyse économique des concepts d'eau virtuelle et d'empreinte eau appliqués aux politiques de l'eau

Eau virtuelle. Le concept d'« eau virtuelle » est apparu au milieu des années 1990 dans les études consacrées aux ressources hydriques. Il a été forgé par le professeur Tony Allan, de l'Université de Londres, pour désigner l'eau servant à produire les cultures commercialisées sur les marchés internationaux. Depuis qu'il a été conçu il y a une quinzaine d'années, ce concept s'est révélé très utile pour attirer l'attention des responsables de l'élaboration des politiques et des autorités chargées d'encourager une utilisation raisonnée des ressources en eau.

Toutefois, le concept d'eau virtuelle souffre d'un défaut fondamental qui l'empêche d'être un outil prescriptif valide : l'absence de cadre conceptuel sous-jacent. Certains chercheurs le rattachent, à tort, à la théorie économique de l'avantage comparatif. Le concept d'eau virtuelle est utilisé le plus souvent pour des analyses ou des comparaisons entre pays pauvres en eau et pays où cette ressource abonde. Étant axé uniquement sur la dotation en ressources naturelles, il exprime un avantage absolu, plutôt qu'un avantage comparatif. Les préconisations qui ressortent des réflexions sur l'eau virtuelle ne permettent donc pas de maximiser les avantages nets de la participation au commerce international. Alors que c'est l'avantage comparatif qui constitue le concept économique pertinent, le concept d'eau virtuelle ne rend compte que de l'avantage absolu.

Plusieurs auteurs ont commencé à décrire la contribution essentielle de facteurs autres que l'eau, comme la densité de population, les tendances historiques de la production, les objectifs nationaux de sécurité alimentaire, les objectifs de lutte contre la pauvreté et la disponibilité d'intrants supplémentaires, lorsqu'on décide s'il faut transférer de l'eau d'une région à une autre ou obtenir les résultats souhaités en transportant ou en échangeant des produits agricoles.

Empreinte eau. Le concept d'« empreinte eau » fait référence au volume d'eau nécessaire pour produire et consommer dans telle région ou tel pays, et sert à évaluer dans une perspective mondiale si une région ou un pays consomme ses ressources de façon durable ou non. Cependant, les empreintes eau estimées sont unidimensionnelles en ce qu'elles expriment l'utilisation d'une seule ressource. De plus, elles ne rendent pas compte des répercussions de la consommation d'eau : elles ne prennent en considération que les volumes d'eau servant aux activités de production et de consommation. En conséquence, l'analyse de l'empreinte écologique en eau ne suffit pas à déterminer les lignes d'action optimales, étant donné qu'elle ne tient pas compte du coût d'opportunité (de rareté) des ressources en eau, ni de la façon dont l'eau est associée à d'autres intrants dans le cadre de la production et de la consommation. L'empreinte eau permet de comparer la consommation d'eau estimée, par habitant ou globalement entre les pays, mais pas d'évaluer correctement les coûts, bienfaits ou impacts environnementaux additionnels de l'utilisation de l'eau.

Agriculteurs, négociants et responsables publics doivent prendre en compte de nombreux aspects économiques et sociaux pour formuler des stratégies optimales. Les concepts d'eau virtuelle et d'empreinte eau s'avèreront utiles dans bien des contextes à la réflexion sur l'action à mener s'ils sont associés à d'autres indicateurs environnementaux, économiques et sociaux. En revanche, ils ne permettront pas seuls de faire aboutir cette réflexion à des résultats optimaux ni de déterminer les lignes d'action qui soient économiquement efficaces et écologiquement efficaces.

Source : D'après OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE.

Et si... ? Modélisation de trois scénarios d'avenir pour l'eau

Dans ce chapitre, la situation de l'eau à l'horizon 2050 a été jusqu'ici décrite en se référant au *scénario de référence*, c'est-à-dire en tablant sur des politiques inchangées. Mais la question se pose de savoir si cette situation pourrait être améliorée par des politiques plus ambitieuses. Cette section présente les résultats de travaux réalisés pour ces *Perspectives de l'environnement*, qui ont consisté à modéliser les conséquences de trois scénarios hypothétiques :

- un scénario d'*efficacité des ressources* ;
- un scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs* ;
- un scénario d'*accès accéléré* à l'eau et à l'assainissement.

Scénario d'efficacité des ressources

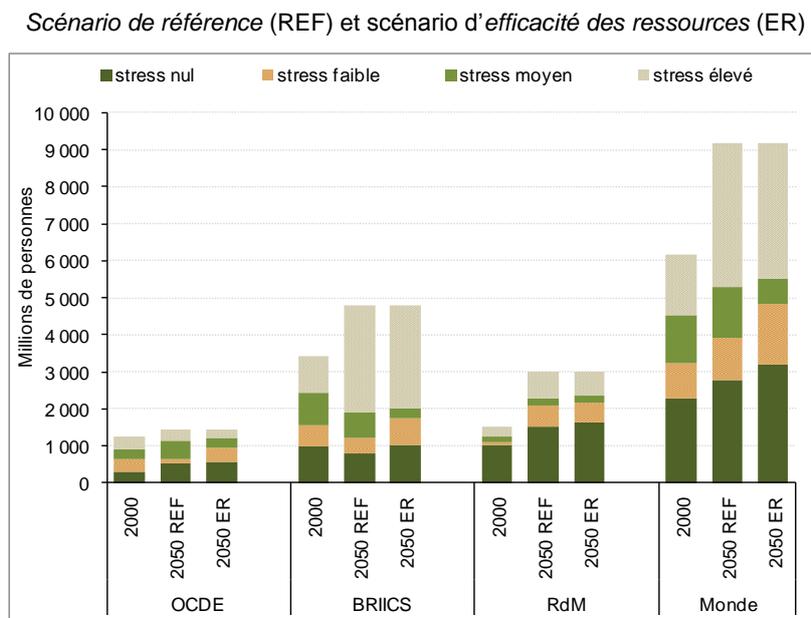
Le scénario d'*efficacité des ressources* modélise l'évolution du stress hydrique dans l'hypothèse d'une baisse de la demande d'eau et d'une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau sous l'effet de politiques plus ambitieuses. Cette simulation repose sur le scénario *450 base* présenté au chapitre 3 sur le changement climatique, qui postule une baisse de la demande d'eau pour les centrales thermiques et une augmentation de la part du solaire et de l'éolien dans la production électrique totale. En outre, le scénario d'*efficacité des ressources* postule une amélioration supplémentaire de 15 % de l'efficacité de l'irrigation dans les pays non membres de l'OCDE, ainsi qu'une amélioration de l'efficacité de 30 % des usages domestiques et industriels à l'échelle mondiale. Pour plus de détails sur les hypothèses retenues dans cette simulation, voir l'annexe 5.A1.

D'après le scénario d'*efficacité des ressources*, l'accroissement de la demande mondiale d'eau devrait ralentir. En 2050, cette demande serait d'environ 4 100 km³, soit 15 % de plus qu'en 2000 mais 25 % de moins que dans le *scénario de référence*. Dans les pays de l'OCDE, la demande serait en 2050 inférieure de 35 % à celle de 2000 (alors que le *scénario de référence* la situe à un niveau inférieur de seulement 10 %).

Toujours dans le cadre de ce scénario d'*efficacité des ressources*, le stress hydrique serait moindre dans de nombreux bassins hydrographiques en Chine, aux États-Unis, en Europe du Sud et de l'Est ainsi qu'en Russie. Néanmoins, à l'échelle mondiale, le nombre de personnes vivant dans une zone en situation de stress hydrique élevé ne reculerait que légèrement par rapport à celui du *scénario de référence*, passant de 3.9 à 3.7 milliards (figure 5.16), ce qui donne à penser que ce scénario aurait seulement pour effet de limiter la gravité du stress dans un certain nombre de régions. Si les projections tablent donc sur une augmentation du nombre de personnes épargnées par le stress hydrique, beaucoup d'habitants de la planète resteraient confrontés à un stress hydrique élevé, notamment en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, dans le sous-continent indien et en Asie centrale.

Il ressort de ces simulations que dans plusieurs régions, les seuls gains d'efficacité ne suffiront pas à remédier au stress hydrique. Il s'avère donc nécessaire de mettre en œuvre des approches plus ambitieuses et plus radicales pour faire davantage reculer la demande d'eau et atténuer la concurrence entre usagers. La répartition de l'eau entre les différents utilisateurs (écosystèmes compris) représentera ainsi un enjeu de taille.

Figure 5.16. Nombre de personnes vivant dans un bassin hydrographique en situation de stress hydrique en 2000 et en 2050



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* ; résultats du modèle IMAGE.

Scénario de recyclage et réduction des éléments nutritifs

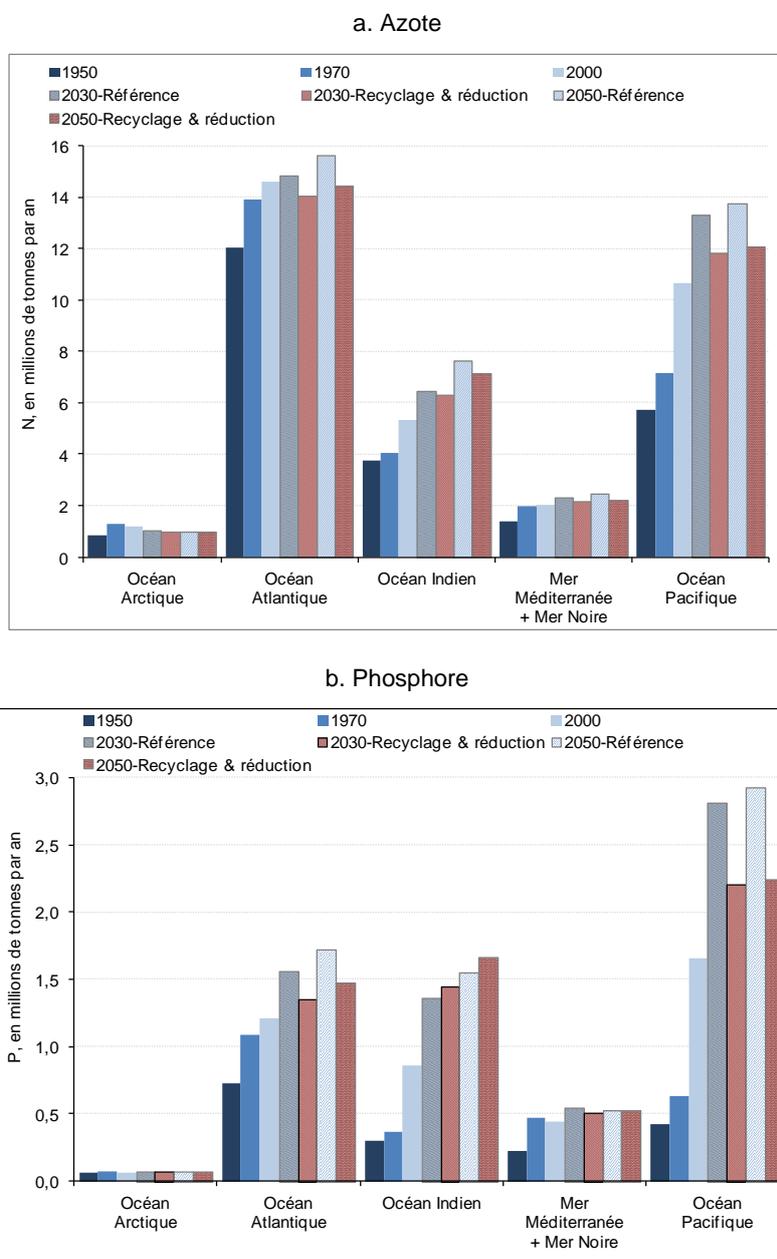
Ce deuxième scénario, dit de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, a été modélisé afin de simuler l'adoption de mesures plus énergiques pour abaisser davantage les rejets d'éléments nutritifs, démarche nécessaire pour faire reculer l'eutrophisation des lacs et des océans. Il évalue l'impact de mesures de réutilisation des éléments nutritifs en agriculture et de réduction des rejets urbains et agricoles d'azote (N) et de phosphore (P). Alors que les réserves de phosphate naturel s'amenuisent⁹, la récupération du phosphore contenu dans les eaux usées peut contribuer à combler le déficit. Les hypothèses retenues sont décrites dans l'annexe 5.A1.

Les nouvelles mesures de nature à susciter les améliorations considérées consisteraient notamment à faire progresser l'efficacité d'utilisation des engrais et l'efficacité des apports d'éléments nutritifs dans la production animale, et à utiliser du fumier organique à la place des engrais phosphorés et azotés de synthèse dans les pays dont l'agriculture recourt abondamment aux engrais. Le scénario table en outre sur des investissements dans des réseaux d'égouts assurant une collecte séparée de l'urine et des autres eaux usées domestiques (voir le tableau 5.A1 dans l'annexe 5.A1) : le recyclage dans l'agriculture des eaux usées traitées réduirait sensiblement les flux d'éléments nutritifs dans les eaux usées *et* l'utilisation d'engrais.

Selon ce scénario, à l'horizon 2050, l'excédent mondial d'azote et de phosphore d'origine agricole pourrait être inférieur de près de 20 % à celui prévu dans le *scénario de référence*, et les rejets d'éléments nutritifs dans les eaux usées pourraient diminuer de près de 35 %. La charge totale en éléments nutritifs dans les cours d'eau serait réduite de près de 40 % pour l'azote et de 15 % pour le phosphore par rapport au *scénario de référence*. Ces réductions pourraient à long terme contribuer à prévenir l'appauvrissement de la biodiversité dans les cours d'eau, les lacs et les zones humides, voire permettre une certaine régénération par endroits. Dans le cas des zones côtières, c'est autour de l'océan Pacifique que l'efficacité des mesures de réduction des flux d'éléments nutritifs serait maximale. S'agissant des océans Atlantique et Indien, les possibilités d'abaisser les rejets d'éléments nutritifs d'origine agricole sont restreintes étant donné la croissance rapide de la production attendue (figure 5.17). Les rejets de phosphore dans l'océan Indien augmenteraient même dans le scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, ce qui tient aux caractéristiques suivantes des régions du monde dont les rejets aboutissent dans cet océan :

- une faible proportion de la population serait raccordée à un réseau d'égouts ;
- la consommation d'engrais est peu élevée à l'heure actuelle et devrait augmenter pour permettre l'amélioration des rendements postulée dans ce scénario, de sorte que le ruissellement de l'azote et du phosphore progresserait ;
- l'utilisation d'engrais étant faible, les possibilités de remplacer des engrais chimiques par du fumier organique seraient limitées ;
- Le fumier qui serait valorisé en dehors de l'agriculture dans le *scénario de référence* (sous forme de combustibles ou de matériaux de construction, en particulier en Inde) serait utilisé en agriculture dans le scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*.

Figure 5.17. Rejets par les cours d'eau d'éléments nutritifs dans la mer : scénario de référence et scénario de recyclage et réduction des éléments nutritifs, 1950-2050



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* ; résultats du modèle IMAGE.

Cela étant, même si l'on parvenait à faire reculer les charges azotées et phosphatées, le risque de prolifération algale dans les zones côtières resterait élevé en raison du déséquilibre persistant entre l'azote, le phosphore et le silicium. En effet, les taux de phosphate et d'azote régressent à un rythme différent et la multiplication des barrages abaisse la charge en sédiments et en silicium dans les cours d'eau. Cela confirme qu'une approche intégrée s'impose, car à long terme, les progrès réalisés sur un seul élément nutritif risquent finalement de se révéler préjudiciables.

Scénario d'accès accéléré à l'eau et à l'assainissement

En juin 2010, l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté une résolution reconnaissant que l'accès à une eau potable et à l'assainissement constitue un droit fondamental. Cette résolution appelle les États et les organisations internationales à fournir des ressources financières, à renforcer les capacités et à procéder à des transferts de technologie, en particulier en faveur des pays en développement, afin de permettre de multiplier les efforts destinés à fournir de l'eau potable, accessible et abordable et l'assainissement pour tous. En mai 2011, le Rapporteur spécial sur le droit à l'eau et à l'assainissement a fait observer que ces droits devaient être décrits sous l'angle de la disponibilité, de la qualité, de l'acceptabilité, de l'accessibilité et du caractère abordable¹⁰.

Cette approche tranche avec les définitions figurant dans les OMD. À l'origine, les OMD ont évoqué l'« approvisionnement en eau potable » et l'« assainissement de base », mais le suivi concerne en fait l'accès à des « sources d'approvisionnement en eau améliorées » et à un « assainissement amélioré ». Il peut en résulter une réévaluation fondamentale du nombre de personnes (et du type de personnes) sans « accès à l'eau potable et à l'assainissement ». Le Programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'eau et de l'assainissement, qui est le mécanisme officiel mis en place par les Nations Unies pour suivre l'avancement des OMD relatifs à l'eau et à l'assainissement, envisage l'application de critères supplémentaires pour améliorer la prise en compte de certains de ces aspects.

Le scénario d'accès accéléré des *Perspectives de l'environnement* fait apparaître les coûts annuels et les avantages sanitaires supplémentaires liés à la réalisation d'objectifs plus ambitieux que les OMD. Ces objectifs seraient atteints en deux temps :

- d'ici à 2030, le nombre de personnes n'ayant pas accès à une source d'eau améliorée et à l'assainissement de base est à nouveau réduit de moitié par rapport à l'année de référence 2005, en s'appuyant sur les progrès déjà réalisés dans le cadre de l'OMD actuel ;
- l'accès universel à une source d'eau et à l'assainissement de base est obtenu en 2050.

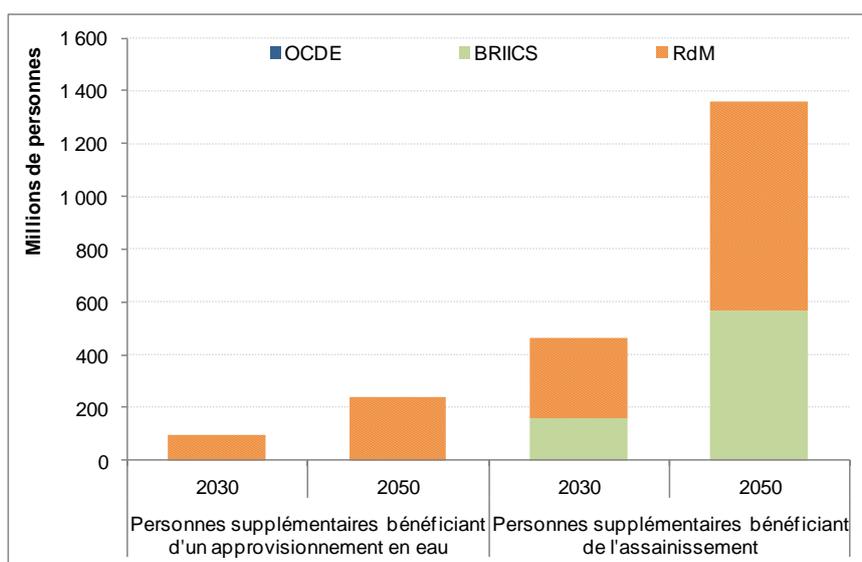
Par rapport au *scénario de référence*, en 2030, près de 100 millions de personnes supplémentaires auraient accès à une source d'eau améliorée et quelque 470 millions de personnes supplémentaires auraient accès à l'assainissement de base dans ce scénario (figure 5.18). Il s'agirait presque exclusivement de personnes vivant en dehors des pays de l'OCDE et des BRIICS (c'est-à-dire dans le reste du monde - RdM). En 2050, 242 millions de personnes de plus auraient accès à une source d'eau améliorée, la plus grande partie de cette augmentation intervenant là encore dans le reste du monde. Quant au nombre de personnes supplémentaires qui bénéficieraient d'un assainissement de base, on l'estime à plus de 1.36 milliard (près de 800 millions dans le RdM et plus de 560 millions dans les BRIICS).

Quels seraient les avantages de ce scénario ? Les retombées sanitaires sont examinées dans le chapitre 6. On estime le nombre de décès évités chaque année serait de 76 000 d'ici à 2030 et de 81 000 entre 2031 à 2050, essentiellement dans les pays du reste du monde. Les avantages pour l'environnement et pour certains secteurs économiques comme la pêche et le tourisme seraient considérables. Les avantages globaux seraient plus importants encore, sachant que certains bienfaits (fierté et dignité, valeur d'aménité, etc.) sont plus difficiles à quantifier en termes monétaires.

Dans les pays les moins avancés, notamment, les avantages seraient considérables et l'emporteraient largement sur les coûts. L'Organisation mondiale de la santé estime ainsi que le bénéfice procuré par les services d'eau et d'assainissement de base dans les pays en développement pourrait être jusqu'à sept fois supérieur à leur coût (cité dans OCDE, 2011b). D'après le rapport GLAAS des Nations Unies, un meilleur accès à l'eau et à l'assainissement peut générer des avantages économiques de l'ordre de 3 à 34 USD par USD investi, ce qui accroît le PIB dans une proportion estimée entre 2 et 7 % (OMS, 2010).

L'estimation de ces avantages par pays doit tenir compte de la situation nationale, dont le stade de développement des infrastructures et le PIB par habitant. De plus, leur valeur varie fortement selon les endroits, en fonction de la prévalence des maladies liées à l'eau ou de l'état des masses d'eau réceptrices, par exemple. Certaines retombées positives finissent vraisemblablement par s'amenuiser, car les investissements destinés à améliorer la qualité des services liés à l'eau tendent à afficher des rendements décroissants. En revanche, les bénéfices sont davantage susceptibles de se concrétiser si les investissements sont programmés de manière appropriée et contribuent ainsi à abaisser les coûts et à garantir que les eaux usées collectées sont traitées correctement.

Figure 5.18. Nombre de personnes supplémentaires bénéficiant d'un approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le scénario d'accès accéléré par rapport au scénario de référence, 2030 et 2050



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* ; résultats du modèle IMAGE.

L'expérience des pays de l'OCDE montre qu'accroître l'accès à l'eau et à l'assainissement exige de lourds investissements pour moderniser les infrastructures mal adaptées et construire de nouveaux équipements. Pour atteindre l'objectif 2030 du scénario d'accès accéléré, il faudrait augmenter de 1.9 milliard USD par an en moyenne l'investissement mondial entre 2010 et 2030 par rapport au scénario de référence ; et pour atteindre l'objectif 2050, ce sont 7.6 milliards USD supplémentaires qui devraient être investis chaque année à partir de 2031. L'écart entre ces deux chiffres tient au fait que la dernière phase est plus coûteuse que les précédentes. En Afrique subsaharienne, ces coûts supplémentaires représenteraient 0.09 % du PIB en 2030 et 0.08 % en 2050.

En outre, des flux financiers substantiels et stables seront nécessaires pour faire fonctionner et entretenir ces infrastructures. Il y aura donc un besoin de stratégies bien conçues et réalistes exploitant les trois grands modes de financement que sont la tarification des services de l'eau, les taxes et les transferts en provenance de la communauté internationale (OCDE, 2010a). Le secteur privé (secteur de l'eau et institutions financières) peut jouer un rôle clé en innovant, en diffusant les innovations et en améliorant l'efficacité. Il peut aussi mobiliser l'épargne privée et faciliter les investissements quand les conditions cadres s'y prêtent (OCDE, 2009 ; 2010e). L'intensification de la concurrence pour l'accès aux fonds publics peu abondants pourrait inciter à réexaminer les expériences antérieures de financement privé dans le secteur de l'eau, qui ont été décevantes dans les pays en développement (Annez, 2006). Les fonds

publics alloués à l'accès universel devraient normalement augmenter lorsque la résolution de l'ONU reconnaissant le droit à l'eau sera mise en œuvre. En outre, tous les États membres de l'OCDE se sont engagés à porter leur aide publique au développement à 0.7 % de leur PIB, et une partie de cet accroissement pourrait contribuer à financer ces indispensables avancées.

5.4. Face aux nouveaux enjeux des politiques de l'eau, de nouvelles mesures s'imposent

Les sections précédentes ont montré que le défi de l'eau appelle d'urgence des politiques plus ambitieuses et de nouvelles approches. Dans cette dernière section, nous nous proposons de mettre en lumière certaines des plus importantes orientations nouvelles qui devraient régir les politiques de l'eau et leur réforme :

- envisager l'eau comme un facteur essentiel de la croissance verte ;
- allouer des quantités d'eau suffisantes au maintien d'écosystèmes sains ;
- favoriser une plus grande cohérence entre les politiques relatives à l'eau, l'énergie, l'environnement et l'alimentation ;
- rechercher de nouvelles sources d'eau (la réutilisation, par exemple) ;
- combler les lacunes en matière d'information ;
- concevoir des réformes réalistes et politiquement acceptables.

Envisager l'eau comme un facteur essentiel de la croissance verte

L'OCDE s'emploie à concilier la poursuite de la croissance économique et du développement avec le besoin de garantir que le patrimoine naturel continue de fournir les ressources et les services écosystémiques sur lesquels repose notre bien-être à tous. Cette ambition est à la base du concept de « croissance verte », qui considère l'utilisation durable de l'eau comme un facteur essentiel, puisque le manque d'eau de qualité suffisante peut constituer un important obstacle à la croissance (OCDE, 2011a). Nous avons vu plus haut qu'une gestion appropriée de l'eau peut être extrêmement bénéfique pour la santé, la production agricole et la production industrielle. Elle concourt en outre à la préservation des écosystèmes et des services qu'ils procurent au niveau des bassins hydrographiques, et peut ainsi permettre d'éviter des coûts substantiels liés à l'effondrement de ces services ou aux crues ou sécheresses.

De même, le PNUE (2011) confirme que les investissements dans les infrastructures de l'eau et dans la mise en place de services liés à l'eau peuvent être porteurs d'importants avantages pour l'économie et l'environnement. Il souligne la nécessité d'investir davantage de fonds publics et privés dans les technologies et infrastructures vertes afin de stimuler l'utilisation efficace de l'eau (et de l'énergie). Il considère ce type d'investissement comme essentiel pour bâtir l'économie verte de demain.

L'utilisation efficace de l'eau et la gestion de la demande en eau sont essentielles à la croissance verte, aux côtés de la réutilisation et du recyclage de l'eau. Le Projet des quatre fleuves lancé en Corée (encadré 5.12) illustre ce que peut être une politique de croissance verte intégrant l'investissement dans les infrastructures de l'eau.

Encadré 5.12. Projet de réaménagement des quatre fleuves en Corée

Le Projet des quatre fleuves offre un bon exemple d'approche globale de la gestion des ressources en eau qui vise également à favoriser une croissance verte. À la suite de la crise économique, la Corée a décidé de consacrer 2 % de son PIB annuel (86 milliards USD au total) à des investissements verts sur la période 2009-13, en vue de remédier à ses problèmes économiques à court terme et de créer des emplois. Elle prévoit d'investir 20 % de ce budget vert (17.6 milliards USD) dans le secteur de l'eau, via le Projet de réaménagement des quatre fleuves (4RR).

Cinq ministères sont parties prenantes au projet : Environnement ; Alimentation, Agriculture, Forêt et Pêche ; Culture, Sport et Tourisme ; Administration publique et Sécurité ; Territoire, Transport et Affaires maritimes. Les buts visés sont les suivants : assurer la disponibilité de suffisamment d'eau pour faire face à la raréfaction de l'eau et aux graves sécheresses provoquées par le changement climatique à l'avenir (objectif : approvisionnement en eau de 1.3 milliard m³) ; prendre des mesures préventives contre les inondations induites par la modification du climat, ainsi que pour faire face à une crue bicentennale, par le dragage des sédiments, le renforcement d'anciennes digues et la construction de petits barrages remplissant plusieurs fonctions (objectif : porter à 920 millions m³ les capacités de retenue pour lutter contre les inondations) ; améliorer la qualité de l'eau en développant les capacités d'épuration des eaux usées et en créant des installations pour lutter contre les proliférations d'algues vertes (objectif : demande biologique en oxygène de 3 mg/l) ; rétablir l'écologie des cours d'eau, créer des zones humides et réajuster les terres agricoles pour remettre en état l'écosystème (223 projets de restauration prévus) ; aménager les rives des cours d'eau dans une optique de création d'espaces de loisirs ; et développer les régions autour des cours d'eau. Le projet devra être réalisé d'ici à 2012.

À terme, l'État prévoit qu'il génèrera 32.8 milliards USD de retombées positives sur l'économie et créera 340 000 emplois, et espère que l'expérience acquise et les technologies développées grâce à lui feront de la Corée un pays de référence en matière de gestion de l'eau.

Source : Korea Environmental Policy Bulletin (2009), "Four Major River Restoration Project of Republic of Korea", *Korea Environmental Policy Bulletin*, Issue 3, Volume VII.

Plusieurs lignes d'action peuvent permettre de mettre de façon plus systématique la gestion de l'eau au service de la croissance verte :

- Investir dans des systèmes écologiques de stockage et de distribution de l'eau dans les régions qui manquent d'eau, sachant que la fiabilité des ressources est essentielle pour les stratégies de croissance verte. Cependant, les technologies et ouvrages de stockage de l'eau tels que les grands barrages peuvent perturber l'équilibre des écosystèmes. À l'inverse, les infrastructures douces (telles que les zones humides, les plaines d'inondation ou l'alimentation des nappes), les barrages de petite taille, la collecte des eaux de pluie ou encore les ouvrages conçus de manière idoine sont plus respectueux de l'écologie et d'un meilleur rapport coût-efficacité.
- Fixer un prix durable pour l'eau et les services associés, ce qui constitue un moyen efficace de signaler la rareté de la ressource et de gérer la demande. Il faut pour cela identifier les bénéficiaires et déployer des mécanismes pour s'assurer qu'ils contribuent à couvrir les coûts liés aux avantages dont ils profitent.
- Être prêt à affecter l'eau aux secteurs et usages qui maximisent sa valeur ajoutée (services environnementaux compris, voir ci-après), ce qui peut s'avérer délicat sur le plan politique car il s'agit le cas échéant de procéder à des réallocations entre usagers (des agriculteurs vers les villes par exemple). Certains pays de l'OCDE commencent à avoir une certaine expérience de l'application d'approches socialement équitables et politiquement acceptables dans ce domaine. Les instruments employés comprennent des autorisations de prélèvement d'eau qui reflètent la

rareté de la ressource, des mécanismes de marché comme les droits sur l'eau négociables, ainsi que des instruments d'information tels que les compteurs intelligents. La question des modalités d'une meilleure allocation de l'eau reste largement débattue. Davantage d'efforts sont nécessaires pour évaluer correctement et mettre en œuvre à plus grande échelle certains de ces instruments, ainsi que pour garantir les valeurs environnementales tout en répondant aux besoins sociaux et économiques. L'expérience des pays membres et non membres de l'OCDE montre que deux importantes conditions préalables doivent être réunies : la constitution de groupes d'appui solides et l'harmonisation des mesures incitatives (voir ci-après la section sur l'économie politique des réformes dans le domaine de l'eau).

- Investir dans les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement, en particulier dans les bidonvilles où l'eau insalubre et l'absence d'assainissement ont des conséquences graves sur la santé et entraînent la perte d'opportunités économiques.
- Catalyser l'investissement et l'innovation qui étayeront une croissance soutenue et créeront de nouvelles opportunités économiques.

Allouer des quantités d'eau suffisantes au maintien d'écosystèmes sains

Devant la nécessité de restaurer le débit écologique des cours d'eau et d'allouer davantage d'eau aux services fournis par les bassins hydrographiques, plusieurs pays ont d'ores et déjà pris des initiatives intéressantes (encadré 5.13). Néanmoins, il reste encore à mettre en place à plus grande échelle des réglementations bien conçues (sur les débits écologiques) et des dispositifs fondés sur les mécanismes du marché, comme les paiements pour les services fournis par les bassins hydrographiques. Des évaluations approfondies des avantages découlant de ces services contribueraient à cet objectif.

Encadré 5.13. Priorité accordée à la santé écologique des cours d'eau dans deux pays de l'OCDE

Australie

Le Commonwealth d'Australie finance l'initiative *Water for the Future* (« de l'eau pour l'avenir »), qui prévoit 12.9 milliards AUD d'investissements sur 10 ans et vise à garantir à long terme l'approvisionnement en eau de tous les habitants du pays. Dans le cadre de ce programme, l'État acquiert des droits sur l'eau négociables afin de pouvoir restituer davantage d'eau à l'environnement. Outre les acquisitions de droits effectuées directement auprès des irrigants, l'eau provient des économies engendrées par la modernisation des infrastructures. Les droits acquis viennent s'ajouter aux droits sur l'eau à usage environnemental détenus par le Commonwealth et servent à accroître les apports d'eau aux fleuves, aux rivières et aux zones humides, en particulier dans le bassin Murray-Darling (voir aussi l'encadré 5.7). Entre juin 2009 et juillet 2011, les droits sur l'eau à usage environnemental détenus par le Commonwealth sont passés de 65 à 1 001 milliards de litres. Au 30 juin 2011, ce sont plus de 550 milliards de litres de cette eau qui avaient été restitués au cours d'eau, zones humides et plaines d'inondation du bassin Murray-Darling. Un plan stratégique est par ailleurs en cours d'élaboration en concertation avec toutes les parties prenantes du bassin Murray-Darling en vue d'assurer la gestion durable et intégrée à plus long terme de celui-ci. L'une de ses dispositions phares sera la définition de limites de consommation d'eau afin de permettre la restitution de quantités suffisantes à l'environnement.

Suisse

En décembre 2009, le Parlement suisse a décidé que tous les cours d'eau et lacs devaient être revitalisés pour rétablir leurs fonctions naturelles et accroître les avantages qu'ils procurent à la collectivité, et qu'il convenait d'atténuer les principaux effets négatifs exercés sur l'environnement par la production d'hydroélectricité (régime d'écluses, obstacle à la migration des poissons et perturbation du régime de charriage). Cette décision est considérée comme une nouvelle étape dans la restauration de la qualité des eaux en Suisse.

L'Ordonnance sur la protection des eaux a ainsi été complétée par des dispositions régissant les aspects suivants :

- Espace réservé aux eaux – l'Ordonnance fixe la largeur minimale de cet espace et détermine l'exploitation agricole extensive qui y est admise. Elle exige que des espaces soient alloués aux eaux et que cette allocation soit inscrite dans un plan de gestion au cours des cinq prochaines années.
- Revitalisations – l'Ordonnance décrit la procédure à suivre pour la planification conceptuelle des revitalisations. La priorité doit être accordée aux revitalisations dont l'effet escompté est le plus grand.
- Réduction des effets négatifs de la production hydroélectrique – l'Ordonnance précise quelles atteintes sont considérées comme graves et pour quelles installations des mesures d'assainissement doivent être envisagées. Elle décrit également la procédure de planification et de mise en œuvre des mesures. Des recommandations sur l'établissement des priorités concernant les petites centrales hydroélectriques sont en cours d'élaboration pour aider les autorités locales à mettre en place la rétribution à prix coûtant de l'électricité injectée dans le réseau (Confédération suisse, 2011).

Sources : Site Internet sur l'eau environnementale du Commonwealth d'Australie : www.environment.gov.au/ewater/about/index.html ; Confédération suisse (2011), Renaturation des eaux : modifications d'ordonnances en consultation, Office fédéral de l'environnement, Berne/Neuchâtel : www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=33269.

Il peut toutefois être délicat de modifier l'allocation des ressources en eau, en particulier au profit de l'environnement, mais aussi entre les autres utilisateurs. En effet, il faut pour cela procéder à de difficiles réformes allant à l'encontre des attentes de différents acteurs, qui considèrent leurs usages existants comme des « droits ». L'obtention d'un soutien en faveur de ces réformes constitue un défi majeur pour les autorités. L'expérience des pays membres et non membres de l'OCDE montre que deux grandes conditions préalables doivent être réunies pour y parvenir : la constitution de groupes d'appui solides et l'harmonisation des mesures incitatives (voir ci-après la section sur l'économie politique des réformes dans le domaine de l'eau).

Favoriser une plus grande cohérence entre les politiques relatives à l'eau, l'énergie, l'environnement et l'alimentation

Les politiques de l'eau recourent un large éventail de secteurs à des échelles géographiques différentes qui vont du niveau local au niveau international, et c'est pourquoi une gouvernance cohérente de l'eau est primordiale. Comme l'a souligné une analyse des dispositifs de gouvernance de l'eau dans les pays de l'OCDE, en plus du manque de financements pour gérer la ressource en eau constaté dans la plupart des pays, l'éparpillement des fonctions et des responsabilités aux échelons central et infranational et le manque de capacités (infrastructures et connaissances) au sein des collectivités territoriales représentent à la fois des entraves et des moteurs pour les futures réformes des politiques de l'eau (OCDE, 2011g).

L'eau, l'énergie, l'environnement et l'agriculture sont liés par des relations étroites, complexes et qui posent des problèmes multiples. La cohérence entre les politiques de l'eau et les autres politiques sectorielles, notamment énergétiques et agricoles, est ainsi fondamentale pour une approche coordonnée de la gestion de la ressource (OCDE, à paraître). L'eau joue un rôle essentiel dans la production d'énergie (dans les biocarburants et l'hydroélectricité, par exemple, ainsi que dans le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires). Quant à l'énergie, elle est indispensable au transport de l'eau et à l'exploitation des sources d'eau de substitution (dessalement, par exemple). De plus en plus nombreux sont les endroits

où la production de denrées alimentaires et celle d'énergie sont en concurrence pour l'accès à des ressources hydriques limitées. Si les tendances actuelles se poursuivent, l'affectation d'eau à l'environnement entrera en conflit avec la production de denrées alimentaires dans plusieurs régions (voir Rosegrant *et al.*, 2002).

Des tensions peuvent apparaître du fait des arbitrages réels ou supposés, par exemple entre la sécurité alimentaire (et la volonté d'assurer une production intérieure) et la productivité de l'eau (et l'allocation de la ressource aux activités à plus forte valeur ajoutée). Des inefficiences peuvent apparaître en présence de subventions dommageables (par exemple, subventionnement de l'énergie consommée par les agriculteurs pour puiser de l'eau dans les nappes souterraines).

Ces tensions ne pourront être résolues qu'en adoptant une perspective planétaire. Une plus grande liberté des échanges de produits agricoles et la réforme des politiques de soutien à l'agriculture dans les pays de l'OCDE pourraient ainsi atténuer certaines de ces tensions entre la sécurité alimentaire et la productivité de l'eau (encadré 5.10). Les liens entre domaines d'action doivent également être pris en considération à un stade précoce. Il convient ainsi que les pays qui fixent des objectifs de production de biocarburants tiennent compte de leurs effets potentiels sur les prélèvements d'eau à l'avenir¹¹.

La coordination des politiques nécessite des discussions entre les différents groupes soutenues par les institutions, ce qui est plus difficile en cas de morcellement des responsabilités entre plusieurs ministères et lorsqu'il faut coordonner la prise de décision entre plusieurs échelons (pays, région, État, commune, bassin hydrographique, etc.). Les capacités des institutions doivent être développées grâce à un renforcement de l'information et de l'échange de données, de l'intégration sectorielle et de la planification conjointe.

Cependant, des approches plus cohérentes se dessinent dans un nombre croissant de pays membres de l'OCDE, en particulier dans le cadre de l'action face au changement climatique, qui voit de nombreux pays commencer à coordonner des politiques jusqu'alors séparées : énergie, eau, lutte contre les inondations et les sécheresses, mesures agro-environnementales, etc. (encadré 5.14). Par exemple, le boisement visant à réhabiliter les terres agricoles situées dans les plaines alluviales a contribué à atténuer les conséquences des crues, à améliorer la qualité de l'eau, à restaurer la biodiversité et à piéger les gaz à effet de serre (OCDE, 2010c). Néanmoins, malgré certaines avancées, il reste à l'évidence beaucoup à faire pour accroître la cohérence des politiques.

Encadré 5.14. Production hydroélectrique, restauration des cours d'eau et investissement privé dans le Land allemand de Bavière

Dans le contexte de la directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne, le ministère bavarois de l'Environnement, de la Santé et de la Protection des consommateurs, celui des Affaires économiques, de l'Infrastructure, des Transports et de la Technologie, ainsi que les principales entreprises de distribution d'électricité opérant en Bavière se sont accordés en 2006 sur un plan directeur relatif à l'avenir de l'hydroélectricité en Bavière, qui vise à concilier un recours accru à l'hydroélectricité et la restauration de l'état écologique des principales masses d'eau du Land.

L'application des mesures recommandées dans ce plan devrait aboutir à une augmentation de la production hydroélectrique respectueuse du climat en Bavière et stimuler l'investissement privé. Le plan prévoit d'accroître de près de 14 % la production d'hydroélectricité en créant de nouveaux sites de production, en construisant de nouvelles centrales aux barrages et chutes d'eau existants et en modernisant les installations existantes.

Lorsqu'il sera mis en œuvre, il offrira une bonne illustration des synergies possibles entre développement économique et performances écologiques.

Source : d'après Haselbauer, M. et C. Göhl (2010), *Evaluation of Feasible Additional Hydro Potential in Bavaria/Germany*, RMD-Consult GmbH, Berlin, www.rmd-consult.de/fileadmin/rmd-consult/news/2010_Hydro_paper_HA.pdf.

Exploiter de nouvelles sources d'eau

Une réponse peu coûteuse au défi de l'eau de nature à atténuer les déficits hydriques peut consister à faire appel à des sources de substitution – eaux pluviales, eaux ayant déjà servi et eaux dessalées ou saumâtres – ou à encourager plusieurs usages successifs de l'eau. Elle peut avoir pour avantages annexes de permettre des économies d'énergie (selon les technologies appliquées et le contexte) et une réduction des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien. Cependant, ces technologies ne sont pas exemptes de risques (voir l'encadré 6.6 dans le chapitre 6 sur l'environnement et la santé).

Les pays commencent à acquérir une certaine expérience dans ce domaine. C'est ainsi qu'Israël utilise des eaux usées traitées pour la recharge des nappes souterraines et l'irrigation. Si les rejets polluants ont baissé depuis 2000 (-20 % pour l'azote, -40 % pour les matières organiques et -70 % pour le phosphore), c'est en grande partie grâce à la construction de nouvelles stations d'épuration et à la réutilisation croissante des effluents dans l'agriculture. Pour leur part, Windhoek en Namibie et Singapour ouvrent la voie en matière de recyclage des eaux résiduaires pour alimenter les réseaux de distribution urbains. La collecte des eaux de pluie est quant à elle de plus en plus considérée comme un complément de l'approvisionnement en eau courante (elle est obligatoire à Calcutta, par exemple).

Une large gamme de technologies, d'équipements et de systèmes est disponible pour différents usages : réutilisation des eaux usées pour l'alimentation des nappes souterraines, l'irrigation, le jardinage, ou les usages domestiques ne nécessitant pas d'eau potable; collecte des eaux de pluie pour accroître les rendements de l'agriculture pluviale ou, là encore, pour les usages domestiques ne nécessitant pas d'eau potable, etc. Les marchés des technologies liées à la réutilisation de l'eau sont en plein essor et contribuent à une croissance verte.

Les autorités nationales et locales auraient intérêt à envisager le recours à ces sources d'eau de substitution et la mise en place des infrastructures correspondantes. Des eaux usées sont aujourd'hui réutilisées aux fins d'irrigation dans différents contextes. Leur réutilisation pour répondre à certains besoins des ménages prend également de l'ampleur, parfois dans le cadre de petits systèmes décentralisés. Cette association est particulièrement indiquée dans les agglomérations nouvelles où il n'existe pas d'infrastructure centrale ; dans les centres-villes dont les infrastructures de l'eau se dégradent ou pâtiennent de déséconomies d'échelle ou de contraintes de capacités ; dans le contexte de projets de rénovation urbaine ; dans les situations instables où la flexibilité, la résilience et l'adaptation sont précieuses (en raison des effets du changement climatique) ; et dans les projets qui voient les promoteurs immobiliers exploiter les bâtiments dans lesquels ils investissent (afin de récupérer leur mise de fonds).

Les technologies mises en œuvre sont souvent simples, et les sources de substitution (comme le dessalement d'eau de mer) deviendront plus compétitives encore à l'avenir grâce aux efforts de recherche-développement. Pour exploiter pleinement les avantages des systèmes d'approvisionnement en eau de substitution et atténuer les risques qui leur sont associés (pollution des terres agricoles ou risques pour la santé, par exemple), les mesures suivantes seront importantes :

- faire participer les populations et les informer en s'appuyant sur une communication efficace et des données solides, sachant que l'idée de réutiliser l'eau est généralement accueillie avec scepticisme ;
- mettre en place des réglementations qui permettent d'étudier d'autres formes d'approvisionnement en eau. Il conviendra en particulier d'adapter les normes de qualité de l'eau

à certains usages et à la réutilisation de l'eau. En règle générale, les eaux usées urbaines ne peuvent être réutilisées que si elles ne sont pas fortement polluées. Les réglementations devront tenir compte de plusieurs dimensions, dont les coûts et les avantages sur l'ensemble du cycle de vie, ainsi que les risques et les incertitudes liés aux diverses sources d'eau et aux différentes technologies ;

- s'assurer que les autorités de régulation du secteur de l'eau surveillent la qualité de toute une série de sources d'eau ;
- veiller à ce que le prix de l'eau reflète sa rareté afin de stimuler le marché des sources de substitution ;
- planifier avec beaucoup de soin le développement de différentes sources d'eau et infrastructures (systèmes centralisés et décentralisés, par exemple), car l'exploitation des sources de substitution peut remettre en cause le modèle économique des exploitants en place (qu'ils soient publics ou privés).

Comblent les lacunes en matière d'information

Les réformes et les nouvelles politiques sont d'autant plus efficaces qu'elles sont (i) fondées sur des données et des informations fiables (concernant la disponibilité et l'utilisation de l'eau, les coûts et avantages des services liés à l'eau), (ii) soutenues par des mesures réalistes et applicables ainsi que par des plans d'investissement, et (iii) conçues par une communauté de parties prenantes connaissant bien leurs propres besoins et priorités.

Le développement des systèmes d'information sur l'eau (SIE) est primordial si l'on veut favoriser la mise en œuvre plus efficiente et plus efficace d'une gestion et de politiques durables concernant la ressource (OCDE, 2010d). En particulier, il apparaît que dans nombre de pays, l'information n'a pas suivi le rythme soutenu des réformes des politiques de l'eau, ce qui a entraîné un déséquilibre et a souvent empêché la mise en œuvre de ces réformes d'être étayée par des données suffisantes.

D'autres incertitudes entourent l'analyse des tendances et des projections établies à l'aide des modèles qui sont présentées dans ce chapitre, car on manque de données et de certitudes au sujet des progrès scientifiques futurs et des résultats qui seront produits à l'avenir par les politiques. Ces incertitudes concernent, par exemple, l'impact du changement climatique (évolution des régimes pluviométriques et des températures) sur les ressources hydriques au niveau désagrégé ; le développement et la diffusion de nouvelles technologies dans le secteur de l'eau (dessalement, maîtrise des fuites, etc.), dans l'agriculture (nouvelles variétés cultivées, amélioration des pratiques agricoles, efficacité de l'irrigation, etc.) et dans le secteur de l'énergie (tours de refroidissement, biocarburants produits sans apports d'eau, utilisation efficace de l'eau dans les activités de production d'énergie) ; l'impact des mesures publiques sur le comportement économique (élasticité-prix de l'eau, par exemple) ; et la sensibilité des écosystèmes de l'eau aux politiques publiques et aux interventions de gestion (telles que celles évoquées lors de l'élaboration des plans de gestion des bassins hydrographiques en Europe ou de la conception des dispositifs de « paiements pour services environnementaux »).

Outre ces réelles causes d'incertitude, il apparaît que nombre de systèmes nationaux et internationaux d'information sur l'eau continuent de fonctionner sans tenir suffisamment compte de l'utilité que présentent les données et informations qui sont régulièrement collectées pour l'action des pouvoirs publics. Les données portant sur les aspects économiques et institutionnels des réseaux d'eau sont nettement moins abondantes que les données physiques, et elles ne sont que partiellement prises en compte dans les révisions périodiques de la plupart des SIE nationaux et internationaux.

Pour remédier à ces problèmes, il faut :

- évaluer les SIE locaux, régionaux, nationaux et internationaux, de manière à déterminer comment les données actuelles sur l'eau sont collectées (ou non) et utilisées (ou non) par les autorités, ainsi que les coûts et avantages de leur collecte, de leur analyse et de leur diffusion ;
- instaurer un système de comptabilité économique et environnementale de l'eau¹² assez souple pour répondre aux différents besoins des décideurs au niveau des bassins hydrographiques et aux niveaux national et international ;
- mieux comprendre les systèmes hydrologiques afin de mieux orienter les efforts de collecte des données destinées aux SIE, par exemple en améliorant la connaissance des relations entre eaux souterraines et de surface et en déterminant les débits écologiques dans le contexte du changement climatique ;
- encourager les innovations en matière de collecte des données sur l'eau, telles que la mise en œuvre de nouvelles technologies ou d'initiatives volontaires de collecte ; ou charger des organismes publics de réglementer, de financer ou de faire payer la collecte, le traitement et l'analyse des données ;
- renforcer l'information économique et financière, et améliorer notamment la compréhension et la mesure de la valeur de l'eau.

Concevoir des réformes réalistes et politiquement acceptables

En tirant les leçons des réformes déployées avec succès dans certains de ses pays membres et en accompagnant celles menées dans les pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale (EOCAC), l'OCDE a acquis une vaste expérience des réformes des politiques de l'eau. Il s'en dégage plusieurs enseignements essentiels.

Un premier constat d'ordre général est que la réforme est un processus qui prend du temps, qui est continu et dont la planification est essentielle. En outre, un certain nombre d'enseignements plus spécifiques peuvent être tirés.

Créer un large soutien

- Comme nous l'avons vu précédemment, les politiques de l'eau ne peuvent pas seules apporter des solutions aux problèmes dans le domaine de l'eau. Les autorités chargées de l'eau doivent collaborer avec d'autres secteurs et acteurs, tels que l'agriculture et le secteur de l'énergie, tout en tenant compte des questions environnementales ; elles doivent en outre œuvrer aux différents échelons de l'administration (niveau local, bassins hydrographiques, communes, collectivités territoriales et État).
- S'agissant des bassins hydrographiques transfrontaliers, la coopération internationale peut se révéler utile, non seulement pour échanger des informations et des pratiques exemplaires, mais également pour partager les coûts et les avantages. C'est ainsi que le Canada et les États-Unis coopèrent depuis de longues années dans le cadre de deux instruments bilatéraux : le Traité relatif aux eaux limitrophes et l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Par ailleurs, la Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontaliers et des lacs internationaux, qui relève de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, constitue un important cadre de coopération internationale.

Opter pour une panoplie de mesures et renforcer les capacités

- Comme indiqué plus haut, il existe tout un éventail de mesures envisageables pour répondre au défi de l'eau (tableau 5.1). Une approche optimale consiste à combiner plusieurs de ces mesures (Israël, par exemple, associe technologies améliorées, tarification et comptage de l'eau dans le cadre de sa politique de l'eau ; voir l'encadré 5.8).
- Les institutions et les capacités doivent être adaptées afin de s'assurer que l'on dispose des compétences voulues pour opérer des choix complexes, tant techniques que non techniques, ainsi que pour évaluer de manière approfondie les solutions envisageables (y compris leur impact économique, social et environnemental).

Tenir compte d'emblée de la viabilité financière

- La dimension financière doit être intégrée très tôt dans le processus (pour éviter de concevoir des politiques trop onéreuses), les possibilités de réduction des coûts doivent être systématiquement prises en compte et le réalisme financier doit imprégner les plans de gestion des ressources en eau.
- Il n'existe finalement que trois sources de financement des investissements et des services liés à l'eau : les « 3 T », à savoir les tarifs, les taxes et les transferts de la communauté internationale (fonds de l'UE, aide publique au développement, etc.). Toutes les autres sources de financement, qui ont un rôle à jouer, doivent être remboursées.
- La planification financière stratégique peut contribuer à définir et à hiérarchiser les politiques de l'eau dans les limites des ressources financières disponibles¹³.
- Les incitations financières qui concernent d'autres secteurs (telles que les subventions à l'énergie et à l'agriculture) doivent être cohérentes avec les objectifs de la politique de l'eau.

Gérer le processus politique et améliorer les connaissances

- Les données concrètes sur la dimension économique des politiques de l'eau peuvent faciliter les réformes, lever les tabous et faire avancer le débat. En l'occurrence, il faut des informations sur la demande d'eau et sur la disponibilité de la ressource, ainsi que sur la dimension économique et les effets de répartition de la réforme des politiques de l'eau.
- La confrontation des expériences nationales en matière de réforme des politiques de l'eau peut appuyer ce processus.

NOTES

-
- ¹ Ces projections, de portée mondiale, sont surtout axées sur les actions nécessaires dans les pays de la zone OCDE et les BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud).
- ² Voir Alcamo *et al.*, 2007, pour une évaluation et une analyse détaillées des travaux publiés sur les processus en jeu dans la salubrité de l'eau.
- ³ Pour d'autres précisions, voir Visser *et al.*, (à paraître). La base de données se rapporte aux catastrophes « liées à la météorologie », et non aux catastrophes « liées à l'eau ». Les deux notions se recoupent largement mais ne sauraient être confondues. La principale différence tient à la catégorie « tempêtes », qui renvoie à la fois aux inondations provoquées par ces phénomènes, comme dans le cas de l'ouragan Katrina, et à l'impact direct du vent. La catégorie des « inondations » englobe les inondations côtières, les débordements des cours d'eau et les crues éclaircies, ainsi que les glissements de terrain et les avalanches.
- ⁴ D'une part, les données laissent à désirer et, d'autre part, la qualité ne s'est peut-être pas systématiquement améliorée malgré ces changements. À terme, un meilleur suivi des indicateurs de polluants physico-chimiques et biologiques peut contribuer à y remédier.
- ⁵ Le soja est cultivé selon un système de rotation des cultures, par exemple en alternance avec du maïs qui utilise l'azote accumulé dans le sol ; dans ces conditions, le soja ne laisse pas s'infiltrer l'azote nitrifié dans les eaux souterraines.
- ⁶ L'Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS) est une initiative mise en œuvre par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Son objectif est de fournir aux décideurs à tous les niveaux des analyses mondiales intégrées, fiables et faciles d'accès portant sur les données disponibles, afin d'aider à prendre des décisions éclairées en matière d'eau potable et d'assainissement.
- ⁷ Voir l'annexe 5.A.1 pour certaines des hypothèses qui sous-tendent cette analyse.
- ⁸ Cette section puise dans FAO (2007).
- ⁹ Les prévisions concernant le temps restant avant l'épuisement des réserves mondiales de phosphate naturel sont entourées d'importantes incertitudes. Elles varient de 50 ans à plus de 100 ans, mais dépendent des estimations relatives aux ressources disponibles (van Vuuren *et al.*, 2010).
- ¹⁰ Voir, par exemple, le discours de Catarina de Albuquerque (www.ohchr.org/EN/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=11017&LangID=E).
- ¹¹ D'après les calculs de Van Lienden *et al.*, (2010), la quantité d'eau consommée pour produire des biocarburants de première génération – production de canne à sucre, maïs et fèves de soja, par exemple – pourrait plus que décupler entre aujourd'hui et 2030, et la concurrence pour l'accès aux ressources en eau douce s'en trouvera accentuée dans de nombreux pays. Ces répercussions sur l'environnement et les ressources en eau seront grandement atténuées en cas d'avancée décisive permettant de produire des biocarburants de deuxième génération sans étendre la superficie cultivée (en utilisant des résidus agricoles ou forestiers, par exemple). Voir les sections consacrées aux bioénergies dans les chapitres 3 et 4.

-
- ¹² À l'appui de la mise en œuvre d'une comptabilité économique et environnementale, le système de comptabilité économique et environnementale de l'eau (SEEAW), qui est une composante du SCEE, fournit aux statisticiens et aux analystes toute une série de concepts, définitions, classifications, tableaux et comptes convenus pour établir une comptabilité de l'eau et des rejets dans l'eau (voir <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/>).
- ¹³ Voir OCDE (2011e) pour plus d'informations sur la contribution possible de la planification financière stratégique dans la pratique.

RÉFÉRENCES

- 2030 Water Resources Group (2009), *Charting Our Water Future. Economic frameworks to inform decision-making*, site Web de McKinsey & Company, http://www.mckinsey.com/App_Media/Reports/Water/Charting_Our_Water_Future_Exec%20Summary_001.pdf.
- AEE (Agence européenne pour l'environnement) 2001, *Eutrophication in Europe's Coastal Waters.*, AEE Copenhague.
- Alcamo, J., M. Flörke et M. Märker (2007), « Future Long-Term Changes in Global Water Resources Driven by Socio-Economic and Climatic Changes », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 52, n°2, pp. 247-275.
- Alley, W.M. (2007), « Another Water Budget Myth: The Significance of Recoverable Ground Water in Storage », *Ground Water*, vol. 45, n° 3, p. 251.
- Annez, P.C. (2006), « Urban Infrastructure Finance from Private Operators: What Have We Learned from Recent Experience? », *World Bank Policy Research Working Paper*, n° 4045, Banque mondiale, Washington, DC.
- Australian Government (2011), *About Commonwealth Environmental Water*, Commonwealth Environmental Water, consultable à l'adresse www.environment.gov.au/ewater/about/index.html.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu et J. P. Palutikof (dir. pub.) 2008, *Le changement climatique et l'eau*, Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève.
- Berg, M. van den, J. Bakkes, A. F. Bouwman, M. Jeuken, T. Kram, K. Neumann, D. P. van Vuuren, H. Wilting (2011), « *EU Resource Efficiency Perspectives in a Global Context* », *Policy Studies*, PBL publication number 555085001, rapport de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.
- Boswinkel, J.A. (2000), *Information Note*, International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), Institut néerlandais de géosciences appliquées, Pays-Bas.
- Bouwer, L (2011), « Have Disaster Losses Increased Due to Anthropogenic Climate Change? », *Bulletin of the American Meteorological Society*, janvier 2011, pp. 39-46.
- Bouwman A.F., A.H.W. Beusen et G. Billen (2009), « Human Alteration of the Global Nitrogen and Phosphorus Soil Balances for the Period 1970-2050 », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 23, doi:10.1029/2009GB003576.
- Bouwman, A.F., *et al.* (2011), « Exploring Global Changes in Nitrogen and Phosphorus Cycles in Agriculture, Induced by Livestock Production, Over the 1900-2050 Period », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States (PNAS)*, doi:10.1073/pnas.1012878108.

- Bouwman, A.F., Kram, T. et K. Klein Goldewijk (dir. pub.) (2006), *Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4*, MNP publication number 500110002/2006, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.
- Bruinsma, J. (dir. pub.) (2003), *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030*, FAO et Earthscan, Londres.
- Bruinsma J. (2009), « The Resource Outlook to 2050: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050? », document technique de la Réunion d'experts sur le thème « Comment nourrir le monde en 2050 », FAO, Rome, 24-26 juin 2009.
- Calatrava, J. et A. Garrido (2010), « Agricultural Water Pricing: EU and Mexico », in OCDE, *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264083592-12-fr.
- Confédération Suisse (2011), *Renaturation des eaux : modifications d'ordonnances en consultation*, Environnement Suisse, Berne/Neuchâtel, consultable à l'adresse www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=33269.
- Conley, D. (2002), « Terrestrial Ecosystems and the Global Biogeochemical Silica Cycle, *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, 68-1 à 68-8 (1121, doi:10.1029/2002GB001894).
- Conseil des droits de l'homme, A/HRC/15/31, Rapport de l'experte indépendante, Catarina de Albuquerque, chargée d'examiner la question des obligations en rapport avec les droits de l'homme qui concernent l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, 29 juin 2010, pp. 17-18, para. 47.
- Deloitte, IPEE (Institut pour une politique européenne de l'environnement) (2011), *European Commission General Directorate Environment: Support to Fitness Check Water Policy*, rapport établi à la demande de la Commission européenne, DG Environnement, IPEE, www.ieep.eu/assets/826/Water_Policy_Fitness_Check.pdf.
- Dobermann, A. et K.G. Cassman (2004), « Environmental Dimensions of Fertilizer Nitrogen: What Can be Done to Increase Nitrogen Use Efficiency and Ensure Global Food Security », A.R. Mosier, J.K. Syers et J.R. Freney (dir. pub.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*, Island Press, Washington, DC.
- Dobermann, A. et K.G. Cassman (2005), « Cereal Area and Nitrogen Use Efficiency are Drivers of Future Nitrogen Fertilizer Consumption », *Science in China, Series C, Life Sciences*, vol. 48, supp, pp. 745—758.
- Drecht, G. van, A.F. Bouwman, J. Harrison et J.M. Knoop (2009), « Global Nitrogen and Phosphate in Urban Waste Water for the Period 1970-2050 », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 23, GB0A03, doi:10.1029/2009GB003458.
- Edwards, R., D. Mulligan et L. Marelli (2010), *Indirect Land Use Change from Increased Biofuels Demand. Comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks*, Centre commun de recherche, Institut de l'énergie, Italie.
- Ekins, P. et R. Salmons (2010), « Making Reform Happen in Environmental Policy », *Making Reform Happen: Lessons from OECD Countries*, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264086296-6-en](https://doi.org/10.1787/9789264086296-6-en).

- Ensign, S.H. et M.W. Doyle (2006), Nutrient spiraling in streams and river networks, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, G04009.
- Fader, M. *et al.* (2010), « Virtual Water Content of Temperate Cereals and Maize: Present and Potential Future Patterns », *Journal of Hydrology*, vol. 384 (2010), pp. 218–231.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (1996), *Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*, FAO, Rome.
- FAO (2006), *World Agriculture: Towards 2030/2050 – Interim Report*, Unité des études prospectives globales, FAO, Rome.
- FAO (2007), « Modern Water Rights: Theory and Practice », *FAO Legislative Study*, n° 92, novembre 2007, FAO, Rome.
- FAO (2010), *Disambiguation of Water Use Statistics*, FAO, Rome.
- FEM (Forum économique mondial) (2011), *Water Security, the Water-Food-Energy-Climate Nexus*, WEF Water Initiative, Island Press, Washington, Covelo, Londres.
- Fischer G., F.N. Tubiello, H. van Velthuizen et D.A. Wiberg (2007), « Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements: Effects of Mitigation, 1990-2080 », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 74 (2007), pp. 1083-1107.
- Fraiture, C. de, *et al.* (2007), « Looking Ahead to 2050: Scenarios of Alternative Investment Approaches », D. Molden (dir. pub.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, IWMI (Institut international de gestion des ressources en eau), Earthscan Publications, Londres.
- Freydank, K. et S. Siebert (2008), « Towards Mapping the Extent of Irrigation in the Last Century: Time Series of Irrigated Area Per Country », *Frankfurt Hydrology Paper 08*, Institut de géographie physique, Université de Francfort.
- Garrido, A. et C. Varela-Ortega (2008), *Economía del Agua en la Agricultura e Integración de Políticas Sectoriales*, Panel Científico técnico de seguimiento de la política de aguas, Université de Séville et Ministère de l'Environnement, Séville, Espagne.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2011), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*, rapport spécial des Groupes de travail I et II, GIEC, Genève (résumé à l'intention des décideurs, http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf).
- Hallegraeff, G.M. (1993), A Review of Harmful Algal Blooms and their Apparent Global Increase, *Phycologia*, vol. 32, pp. 79-99.
- Haselbauer, M. et C. Göhl (2010), *Evaluation of Feasible Additional Hydro Potential in Bavaria/Germany*, RMD-Consult GmbH, Berlin, www.rmd-consult.de/fileadmin/rmd-consult/news/2010_Hydro_paper_HA.pdf.

- Human rights Council (2010), *Report of the Independent Expert on the Issue of Human Rights Obligations Related to Access to Safe Drinking Water and Sanitation*, Catarina de Albuquerque, Human Rights Council, UN, New York
- Hutton, G. et L. Haller (2004), *Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level*, Water, Sanitation and Health Protection of the Human Environment, OMS (Organisation mondiale de la santé), Genève.
- Jeppesen E., B. Kronvang, M. Meerhoff, M. Søndergaard, K.M. Hansen, H.E. Andersen, T.L. Lauridsen, M. Beklioglu, A. Ozen et J.E. Olesen (2009), Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorus Loading and Lake Ecological State, and Potential Adaptations, *Journal of Environmental Quality*, vol. 38, pp. 1930-1941.
- Kim, I.J. et H. Kim (2009), « Four Major River Restoration Project of Republic of Korea », *Korea Environmental Policy Bulletin*, n° 3, vol. VII, Ministère de l'Environnement de la Corée/Institut coréen de l'environnement.
- Klijn, F., J. Kwadijk, *et al.* (2010), Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat; verkenning van wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland, Deltares, Delft, Pays-Bas (en néerlandais).
- Ladha, J.K., *et al.* (2005), « Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects », *Advances in Agronomy*, vol. 87, pp. 85-156.
- Lehner, B. et P. Döll (2004), « Development and Validation of a Global Database of Lakes, Reservoirs and Wetlands », *Journal of Hydrology*, vol. 296, n° 1-4, pp. 1-22.
- Lienden van, A.R., P.W. Gerbens-Leenes, A.Y. Hoekstra et T.H. van der Meer (2010), « Biofuel Scenarios in a Water Perspective: The Global Blue and Green Water Footprint of Road Transport in 2030 », *Value of Water Research Report Series*, n° 34, Institut UNESCO-IHE pour l'éducation relative à l'eau, Delft, Pays-Bas.
- Mooij W.M., Hülsmann S., L.N. De Senerpont Domis, B.A. Nolet, P.L.E. Bodelier, P.C.M. Boers, L.M.D. Pires, H.J. Gons, B.W. Ibelings et R. Noordhuis (2005), The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review, *Aquatic Ecology*, vol. 39, pp. 381-400.
- National-Land-and-Water-Resources-Audit (2002), *Australian Catchment, River and Estuary Assessment 2002*, National Land and Water Resources Audit, Canberra, Australie.
- National Water Commission (s.d.), *National Water Initiative*, National Water Council website, Government of Australia, www.nwc.gov.au/www/html/117-national-water-initiative.asp.
- Nations Unies (2011), *Objectifs du Millénaire pour le développement : Rapport de 2011*, Nations Unies, New York.
- Neumann, K. (2010), *Explaining Agricultural Intensity at the European and Global Scale*, thèse de doctorat, Université de Wageningen, Pays-Bas.
- Neumayer, E. et F. Barthel (2011), « Normalizing Economic Loss from Natural Disasters: a Global Analysis », *Global Environmental Change*, vol. 21, pp. 13-24.

- Nicholls, R.J. *et al.* (2008), « Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 1, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/011766488208](https://doi.org/10.1787/011766488208).
- Nocker, L. de, S. Broekx, I. Liekens, B. Görlach, J. Jantzen et P. Campling, (2007), *Costs and Benefits Associated with the Implementation of the Water Framework Directive, with a Special Focus on Agriculture: Final Report*, étude pour la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne, 2007/IMS/N91B4/WFD, 2007/IMS/R/0261 (consultable à l'adresse http://www.i-tme.nl/pdf/framework_directive_economic_benefits_implementation_report_sept12.pdf).
- OCDE (2006), *Maintenir la salubrité de l'eau*, *Synthèses de l'OCDE*, OCDE, Paris.
- OCDE (2008a), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264040502-fr.
- OCDE (2008b), *La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de l'OCDE depuis 1990*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264040946-fr.
- OCDE (2008c), *Données OCDE sur l'environnement : Compendium 2006-2008*, OCDE, Paris.
- OCDE (2009), *Infrastructures en eau et secteur privé : Guide de l'OCDE pour l'action publique*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264060319-fr.
- OCDE (2010a), *Le prix de l'eau et des services d'eau potable et d'assainissement*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264083622-fr.
- OCDE (2010b), *Ressources en eau dans l'agriculture : perspectives et enjeux de l'action publique*, site Web de l'OCDE, http://www.oecd.org/document/20/0,3746,fr_21571361_43893445_44441711_1_1_1_1,00.html.
- OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264083592-fr.
- OCDE (2010d), *OECD Workshop: Improving the information base to better guide water resource management decision making, atelier de l'OCDE*, Saragosse, Espagne, 4-7 mai 2010, http://www.oecd.org/document/43/0,3746,en_2649_37425_43685739_1_1_1_37425,00.html.
- OCDE (2010e), *Des mécanismes de financement innovants pour le secteur de l'eau*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264083684-fr.
- OCDE (2011a), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264111332-fr.
- OCDE (2011b), *Benefits of Investing in Water and Sanitation: An OECD Perspective*, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264100817-en](https://doi.org/10.1787/9789264100817-en).
- OCDE (2011c), *OECD Environmental Performance Reviews: Israel 2011*, doi: [10.1787/9789264117563-en](https://doi.org/10.1787/9789264117563-en) (à paraître en français en 2012 : *Examens environnementaux de l'OCDE : Israël 2011*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/9789264168541-fr).

- OCDE (2011d), *Ten Years of Water Sector Reform in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264118430-en](https://doi.org/10.1787/9789264118430-en).
- OCDE (2011e), *Meeting the Challenge of Financing Water and Sanitation: Tools and Approaches*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264120525-en](https://doi.org/10.1787/9789264120525-en).
- OCDE (2011f), *Better Policies to Support Eco-innovation*, Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264096684-en](https://doi.org/10.1787/9789264096684-en).
- OCDE (2011g), *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions de l'OCDE, doi: [10.1787/9789264119284-en](https://doi.org/10.1787/9789264119284-en).
- OCDE (à paraître), *Policy Coherence between Water Energy and Food*, OCDE, Paris.
- OFEV/OFS (Office fédéral de l'environnement/Office fédéral de la statistique) (2011), *Environnement Suisse 2011*, OFEV/OFS, Berne/Neuchâtel.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (2010), *GLAAS 2010 – Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable : Cibler les ressources pour de meilleurs résultats*, OMS, Genève.
- OMS/UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'enfance) (2008), *Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation*, Programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'eau et de l'assainissement Programme commun, Organisation mondiale de la santé, Genève and UNICEF, New York.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2008), *Vital Water Graphics - An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*, 2nd Ed, PNUE, Nairobi, Kenya, www.unep.org/dewa/vitalwater/index.html.
- PNUE (2011), *Decoupling, Water Efficiency and Water Productivity*, Groupe d'experts international pour la gestion durable des ressources, PNUE, Nairobi, Kenya.
- Prins, A.G., E. Stehfest, K. Overmars et J. Ros (2010), Are Models Suitable for Determining ILUC Factors?, PBL publication number 500143006, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.
- Rockström, J. *et al.* (2009), "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity", *Ecology and Society*, vol. 14, n° 2, art. 32, <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.
- Rosegrant, M.W., X. Cai et S.A. Cline (2002), *World Water and Food to 2025. Dealing with Scarcity*, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Rost, S., *et al.* (2008), « Agricultural Green and Blue Water Consumption and its Influence on the Global Water System », *Water Resources Research*, vol. 44, W09405, doi: 10.1029/2007WR006331.
- Rutherford, K. et T. Cox (2009), « Nutrient Trading to Improve and Preserve Water Quality », *Water & Atmosphere*, vol. 17, n° 1.
- Seekell, D.A., P. D'Odorico et M.L. Peace (2011), « Virtual Water Transfers Unlikely to Redress Inequality in Global Water Use », *Environmental Research Letters*, vol. 6, n° 2.

- Shah, T. *et al.* (2007), « Groundwater: A Global Assessment of Scale and Significance », D. Molden (dir. pub.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, IWMI (Institut international de gestion des ressources en eau), Earthscan Publications, Londres.
- Shen, Y., *et al.* (2008), « Projection of Future World Water Resources Under SRES Scenarios: Water Withdrawal », *Hydrological Sciences*, vol. 53, n° 1, février 2008.
- Shiklomanov, I. A. et J.C. Rodda (2003), *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- Smith, S.V., D.P. Swaney, L. Talaue-McManus, D.D. Bartley, P.T. Sandhei, C.J. McLaughlin, V.C. Dupra, C.J. Crossland, R.W. Buddemeier, B.A. Maxwell et F. Wulff (2003), Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean, *BioScience*, vol. 53, pp. 235-245.
- Statistique Canada (2010), « Étude : Offre et demande d'eau douce au Canada », Statistics Canada Website, site Web de Statistique Canada, 13 septembre 2010, <http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/100913/dq100913b-fra.htm>.
- Veeran, R. van der (2010), « Different Cost-benefit Analyses in The Netherlands for the European Water Framework Directive », *Water Policy*, vol. 12, n° 5, pp. 746-760.
- Vicuña S., R.D. Garreaud, J. McPhee (2010), Climate Change Impacts on the Hydrology of a Snowmelt Driven Basin in Semiarid Chile, *Climate Change*, doi : 10.1007/s10584-010-9888-4.
- Visser, H., A.A. Bouwman, P. Cleij, W. Ligtoet et A.C. Petersen (à paraître), *Trends in Weather-related Disaster Burden: A global and regional study*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.
- Vuuren, D.P. van, A.F. Bouwman et A.H.W. Beusen, (2010), « Phosphorus Demand for the 1970 – 2100 Period: A Scenario Analysis of Resource Depletion », *Global Environmental Change*, vol. 20, n° 3, pp. 428-439, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378010000312#sec3.2.
- Wada, Y. *et al.* (2010), « A Worldwide View of Groundwater Depletion », *Geophysical Research Letters*, vol. 37, L20402, doi:10.1029/2010GL044571.
- World Water Council (Conseil mondial de l'eau) (2000), *L'eau : l'affaire de tout le monde*, Londres.
- Zektser, I. S. et L.G. Everett (dir. pub.) (2004), *Groundwater Resources of the World and Their Use*, UNESCO IHP-VI Series on Groundwater, n° 6, UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), Paris, <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134433e.pdf>.

ANNEXE 5.A INFORMATIONS RELATIVES À LA MODÉLISATION SUR L'EAU

La présente annexe vise à préciser les informations retenues pour les aspects suivants de la modélisation :

- résumé des évolutions socio-économiques utilisées pour les projections correspondant au *scénario de référence* ;
- demande d'eau douce, destinée en particulier à l'irrigation ;
- scénario d'*efficacité des ressources* ;
- qualité de l'eau, notamment la question des effluents d'éléments nutritifs ;
- scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs* ;
- populations et richesses exposées aux catastrophes liées à l'eau ; et
- approvisionnement en eau et assainissement.

Des informations plus générales sur le contexte de modélisation dans lequel s'inscrivent les *Perspectives de l'environnement* sont données dans le chapitre 1, et d'autres précisions sur les modèles utilisés figurent dans l'annexe sur le cadre de modélisation à la fin du rapport.

Évolutions socio-économiques d'après le scénario de référence

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* donne lieu, pour un certain nombre d'évolutions socio-économiques, à des projections récapitulées ci-dessous (et examinées de plus près dans les chapitres 1 et 2), qui ont ensuite servi à établir les projections du *scénario de référence* relatives à l'eau évoquées dans le présent chapitre (exception faite des catastrophes liées à l'eau).

- Le PIB mondial devrait pratiquement quadrupler au cours des quatre prochaines décennies, dans le prolongement des 40 années écoulées et selon les projections détaillées concernant les principaux moteurs de la croissance économique. D'ici à 2050, les hypothèses indiquent que la part de la zone OCDE dans l'économie mondiale descendra à moins de 32 %, contre 54 % en 2010, alors que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud (BRIICS) passera à plus de 40 %.
- D'ici à 2050, 2.2 milliards d'habitants devraient s'ajouter aux 7 milliards que compte actuellement la planète. Toutes les régions du monde devraient connaître un vieillissement de la population, mais elles se trouveront à des stades différents de cette transition démographique.
- À l'horizon 2050, on suppose que la population mondiale vivra pour près de 70 % dans des zones urbaines.

- En 2050, la demande mondiale d'énergie aura augmenté de 80 % si les politiques actuelles sont maintenues. Le bouquet énergétique mondial devrait être sensiblement le même qu'aujourd'hui, la part des énergies fossiles représentant toujours près de 85 % (de l'énergie commerciale), celle des énergies renouvelables, biocarburants compris (mais hors biomasse traditionnelle), un peu plus de 10 %, le reste étant d'origine nucléaire. Parmi les combustibles fossiles, on ne saurait dire si l'accroissement de l'offre énergétique sera plutôt imputable au charbon ou au gaz.
- Au niveau mondial, la superficie des terres agricoles devrait s'étendre durant la prochaine décennie, à un rythme toutefois plus lent. Elle devrait culminer avant 2030, la progression s'expliquant par l'augmentation des besoins alimentaires d'une population toujours plus nombreuse, pour diminuer par la suite, parallèlement au ralentissement de la croissance démographique et à l'amélioration continue des rendements. Les taux de déforestation s'orientent déjà en baisse, et cette tendance devrait se poursuivre, surtout après 2030, la demande d'expansion des terres agricoles se faisant moins pressante (section 2.3, chapitre 2).

Demande d'eau

La demande correspondant à l'irrigation est calculée à l'aide du modèle LPJmL (modèle LPJ pour la gestion des terres) sur la base des procédés mis en œuvre (encadré 5.A1). L'intitulé complet est « Lund-Potsdam-Jena managed Land Dynamic Global Vegetation and Water Balance Model » (Rost *et al.*, 2008). Les prélèvements destinés à des usages domestiques sont estimés au moyen d'une équation relativement simple, dans laquelle entrent le nombre d'habitants, leur niveau de revenu, les conditions climatiques, certains facteurs culturels et le raccordement ou le non-raccordement au réseau de distribution d'eau courante. La répartition géographique est modélisée d'après des projections démographiques à une échelle plus fine, compte tenu de la ventilation population urbaine/population rurale et du taux de raccordement au réseau d'eau courante selon le revenu. La demande d'eau industrielle destinée à diverses opérations et au refroidissement est basée sur la valeur ajoutée de la production, corrigée en fonction des améliorations apportées en termes d'efficacité des procédés et des applications. Une part relativement petite, quoique vitale sur le lieu de consommation, va à l'élevage (voir ci-dessous). Enfin, on suppose qu'un volume important, et en augmentation, est utilisé dans la production d'électricité à des fins de refroidissement. Les centrales thermiques (à vapeur) arrivent en tête. Le modèle prend en compte l'évolution de l'efficacité au fil des ans, le mode de refroidissement et la part des nouvelles technologies nécessitant moins d'eau de refroidissement, dont les installations à cycle combiné offrent un exemple.

Encadré 5.A1. Le modèle LPJmL : calcul de la demande d'eau appliqué à l'irrigation

Le modèle LPJmL décrit la manière dont les flux hydrologiques sont influencés par les précipitations, l'évaporation à partir des sols et des étendues d'eau et la transpiration des plantes, que le processus soit naturel ou modifié par des interventions humaines. Un bilan hydrique peut être établi pour chaque maille de la grille (voir chapitre 1), étant donné les modes d'utilisation des terres, la végétation naturelle, la répartition et la gestion des cultures, sans oublier les paramètres climatiques (température, précipitations et concentration de CO₂) et pédologiques. Apparaissent alors pour les différentes mailles l'écoulement d'eau, autrement dit la quantité qui aboutit dans les cours d'eau, les lacs et les retenues des barrages, ainsi que les volumes disponibles pour des prélèvements en aval. La demande d'eau à des fins non agricoles est calculée au niveau des régions du monde et ramenée à l'échelle du maillage d'après la répartition spatiale de la population et le PIB en tant qu'indicateur de l'activité humaine. Compte tenu de la demande d'eau d'irrigation (voir ci-dessous), l'écoulement est ensuite corrigé en fonction du total des prélèvements dans la maille considérée. L'écoulement restant est transféré à la maille suivante en aval, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'ensemble du bassin hydrographique soit pris en compte.

On calcule les besoins en eau d'irrigation en comparant la quantité nécessaire à une croissance sans restriction avec la quantité apportée par les précipitations. L'écart est comblé par l'irrigation, grâce aux eaux de surface et souterraines disponibles dans la même maille ou dans les mailles voisines.

Selon le système d'irrigation en place et son mode de gestion, le ratio peut varier entre l'eau qui contribue effectivement à l'humidité des sols nécessaire à la croissance des végétaux et le volume prélevé dans le réseau hydrographique. Les canaux à ciel ouvert laissent s'évaporer une partie de l'eau, à laquelle s'ajoutent des déperditions dues aux parois, aux fissures, etc. Les canalisations fermées empêchent l'évaporation, mais sont sujettes à des fuites liées aux défauts des joints et des conduites. Les différences en termes d'efficacité tiennent aussi à la méthode employée dans les champs : par exemple, les installations d'aspersion perdent de l'eau via l'évaporation, l'interception par les feuilles ou le phénomène de dérive ; dans le cas de l'irrigation superficielle, les déperditions ont pour causes l'évaporation, l'écoulement de surface, l'humidification inégale des sols, etc. L'irrigation au goutte-à-goutte à proximité des racines est la plus efficace. Les estimations utilisant le modèle LPJmL se rapportent aux principaux systèmes en place, à l'échelle nationale et régionale, et à leurs performances habituelles (Fader *et al.*, 2010).

Les demandes ne se traduisent pas systématiquement en termes de consommation. Une part variable s'échappe dans l'atmosphère ou se trouve incorporée dans des produits exportés ailleurs. Le reste retourne au bassin hydrographique, au bout d'un certain délai et après modification de la température et de la charge polluante. Pour mesurer le stress hydrique, on compare les demandes totales avec les apports renouvelables, en moyenne annuelle et sous forme agrégée par grand bassin (ou sous-bassin).

L'estimation de la demande d'eau passée, présente et à venir présente de nombreuses incertitudes. L'eau est souvent disponible gratuitement pour les utilisateurs, et peut être prélevée non seulement dans les eaux de surface (cours d'eau, lacs naturels, réservoirs), mais aussi dans les réservoirs souterrains au moyen de puits sans comptage ni suivi formels. Les données de surveillance publiées font défaut sur la superficie totale équipée pour l'irrigation, et sont encore moins nombreuses en ce qui concerne les surfaces effectivement irriguées, ainsi que les volumes d'eau apportés aux champs et prélevés dans les cours d'eau. Les chiffres varient grandement selon les sources d'information, même pour les pays de l'OCDE, qui font l'objet d'un suivi relativement meilleur que d'autres régions du monde.

Estimation de la demande d'eau en 2000

Selon le modèle LPJmL, la demande globale d'eau d'irrigation s'est établie à 2 400 m³ pour l'année 2000, bien que le calcul soit entaché d'incertitude (voir la section ci-dessous). À l'échelle de la planète, la part de l'eau prélevée qui ne parvient pas jusqu'aux cultures, et qui ne contribue pas à l'humidité des sols nécessaire à la croissance des végétaux, est estimée à 50 %. Les autres estimations relatées dans les travaux publiés sont du même ordre : elles vont de 51 % (Fischer *et al.*, 2007) à 60 % (Fraiture *et al.*, 2007).

D'après une estimation réalisée pour la précédente édition des *Perspectives de l'environnement* de l'OCDE (OCDE, 2008a), corrigée en fonction du nombre d'habitants, les quantités totales d'eau utilisées en 2000 pour des usages domestiques et manufacturiers ont avoisiné respectivement 350 km³ et 230 km³. Les calculs de 2008 ont servi de point de départ pour le secteur manufacturier et la production d'électricité. Si l'utilisation de l'eau peut être très variable d'une branche d'activité à l'autre, une relation générale moyenne avec la valeur ajoutée industrielle totale a été postulée pour chaque région géographique, selon la structure régionale retenue pour l'activité et le niveau technologique. Cette relation a été adaptée au fil des ans en fonction des hypothèses concernant les évolutions structurelles et les progrès technologiques dans les différentes activités.

En 2000, la demande mondiale d'eau faisait la part belle, après l'agriculture irriguée, à la production d'électricité, pour le refroidissement des centrales thermiques (turbines à vapeur). Au total, les estimations indiquent que la production d'électricité a représenté approximativement 540 km³ en 2000. La quantité d'eau utilisée par unité d'électricité produite peut varier sensiblement selon les centrales thermiques, suivant leur efficacité globale (de moins de 30 % à environ 60 %), le type de centrales (turbine à vapeur ou cycle combiné gaz/vapeur) et le système de refroidissement en place (à circuit ouvert ou fermé). On suppose que les centrales hydroélectriques restituent aux cours d'eau les volumes prélevés, déduction faite de déperditions assez peu importantes liées à l'évaporation à partir des réservoirs, si bien qu'elles ne contribuent pas à la demande d'eau.

En dernier lieu, l'élevage nécessite des quantités d'eau relativement faibles à l'échelle mondiale, estimées à quelque 25 km³ pour 2000. Toutefois, dans certains endroits, il peut représenter une large part dans l'utilisation de la ressource. Les races animales, les modes d'alimentation du bétail et le climat sont autant de facteurs qui influent sur la demande d'eau de ce secteur.

Incertitudes entourant le calcul de la demande future d'eau d'irrigation

La demande future d'eau d'irrigation dépend des changements affectant les superficies irriguées et la quantité utilisée par unité de surface. Elle donne lieu à des projections très variables d'une publication à l'autre. Aux facteurs biophysiques et techniques s'ajoutent des facteurs socio-économiques et des formes de gouvernance (Neumann, 2010). Ainsi, l'instabilité politique et la fragilité économique risquent d'être peu propices à l'irrigation, alors que des traditions bien ancrées et le soutien des pouvoirs publics peuvent jouer en sa faveur. Ces facteurs sont difficiles à modéliser. Dans la documentation publiée, les projections concernant la demande à venir se situent entre le niveau actuel (entaché d'incertitude) et 10 à 20 % de plus d'ici au milieu du siècle (Alcamo *et al.*, 2007 ; Bruinsma, 2003 ; Bruinsma, 2009 ; Fischer *et al.*, 2007 ; Fraiture *et al.*, 2007 ; Shen *et al.*, 2008). Par exemple, Alcamo *et al.* (2007) citent plusieurs scénarios d'augmentation des superficies irriguées allant, selon le cas, de 0.4 % à 9.7 % pour la période 1995-2050. L'évolution des prélèvements d'eau d'irrigation va quant à elle de -15.3 % à +43.3 %.

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* table sur une superficie irriguée et une efficacité d'utilisation de l'eau inchangées en dehors de la zone OCDE jusqu'en 2050. La première de ces hypothèses conduit probablement à sous-estimer la demande d'eau d'irrigation en 2030 et 2050, alors que la seconde risque de surestimer la demande en dehors de l'OCDE.

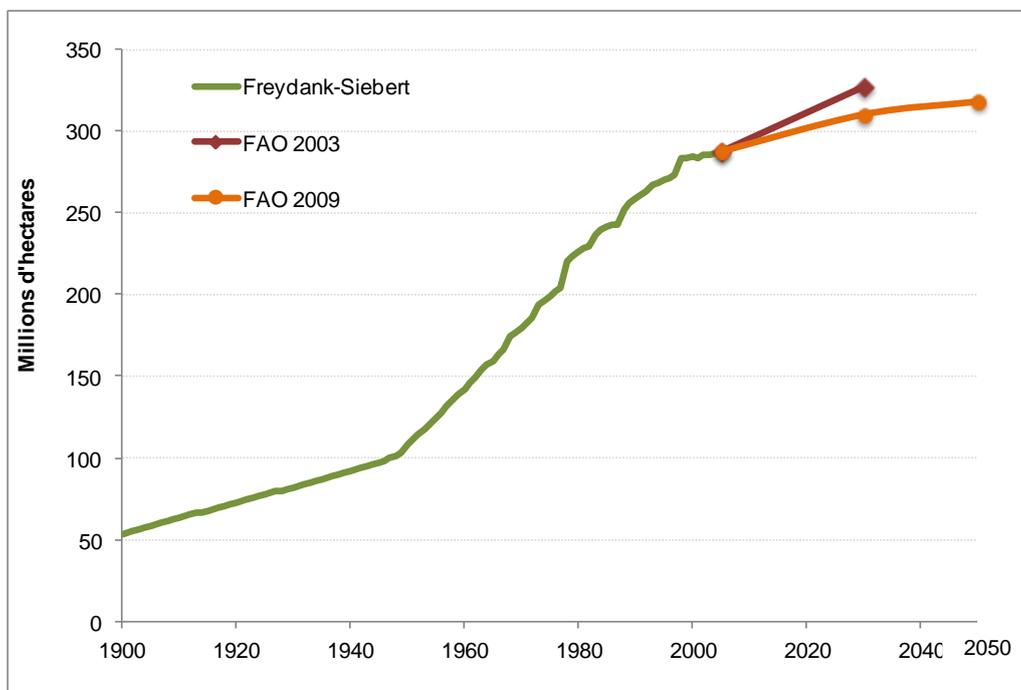
Une considération pratique explique pourquoi le cadre de modélisation utilisé pour les *Perspectives de l'environnement* maintient les superficies irriguées à leur niveau actuel. Une variation de superficie supposerait que le modèle puisse ventiler la demande d'eau d'irrigation par culture et en fonction des sites ; or c'est pour l'instant impossible. À supposer que les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prennent en compte un léger essor de l'irrigation¹, l'augmentation correspondante de la demande d'eau ne modifierait pas fondamentalement le total des demandes. En effet, c'est la progression

bien plus rapide de la demande correspondant aux usages domestiques et industriels et à la production d'électricité qui tend à jouer un rôle déterminant. D'autres projections concernant la demande totale d'eau donnent une représentation comparable (Shen, 2008).

D'après les données de Freydank (2008 ; également utilisées pour les projections de la FAO), les surfaces arables équipées pour l'irrigation se sont étendues, à des rythmes variables, entre 1900 et 2008 (figure 5.A1). Toutefois, il arrive souvent qu'elles ne soient pas irriguées, pour diverses raisons telles que le manque d'eau, l'absence d'agriculteurs, la dégradation des terres, les dommages subis et les problèmes organisationnels. Les données sur une longue période concernant l'évolution des superficies effectivement irriguées font défaut pour étayer les projections futures.

Selon les projections réalisées par la FAO en 2003, la superficie équipée pour l'irrigation devait passer de 287 à 328 millions d'hectares à l'horizon 2030 (Bruinsma, 2003). Une projection plus récente de la FAO (Bruinsma, 2009) ramène à 310 millions d'hectares (+8 %) la superficie attendue pour 2030, et ne prévoit quasiment aucune nouvelle augmentation jusqu'en 2050 (figure 5.A1). L'expansion devrait intervenir entièrement dans les économies émergentes et dans les pays en développement.

Figure 5.A1. Total mondial des surfaces arables équipées pour l'irrigation, 1900-2050



Sources : Bruinsma, J.E. (2003), *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030*, FAO et Earthscan, Londres ; Bruinsma, J.E. (2009), « The Resource Outlook to 2050: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050? », document technique de la Réunion d'experts sur le thème « Comment nourrir le monde en 2050 », 24-26 juin 2009, FAO, Rome ; Freydank, K. et S. Siebert (2008), « Towards Mapping the Extent of Irrigation in the Last Century: Time Series of Irrigated Area per Country », *Frankfurt Hydrology Paper 08*, Institut de géographie physique, Université de Francfort, Francfort-sur-le-Main, Allemagne.

Les méthodes employées pour prévoir la demande à venir vont d'une règle simple fondée sur une superficie par habitant inchangée, la superficie globale augmentant avec la population (Shen, 2008), à des approches plus complexes dans lesquelles interviennent à la fois la demande potentielle (ratio précipitations/évapotranspiration) et la disponibilité à l'échelle locale de ressources en eau utilisables pour

l'irrigation (Fischer, 2007). D'autres tablent sur des stratégies d'investissement destinées à répondre aux demandes alimentaires futures, moyennant des améliorations de l'agriculture pluviale ou de l'agriculture irriguée axées soit sur l'extension des superficies, soit sur les progrès des rendements et de la productivité de l'eau (Fraiture *et al.*, 2007). Un scénario mixte répartit les investissements entre les diverses mesures, aboutissant à une augmentation relativement limitée des terres irriguées (+16 %) et des prélèvements d'eau (+13 %).

Toutes les stratégies envisagées par Fraiture *et al.*, (2007) supposent des efforts considérables et des centaines de milliards de dollars d'investissement. Le développement de l'irrigation est relativement coûteux et moins rentable que les autres stratégies d'investissement étudiées visant à accroître la production agricole. La solution la plus abordable consiste à promouvoir les échanges de produits agricoles, de sorte que la production augmente dans les régions propices à une agriculture pluviale, de préférence à l'agriculture irriguée. L'évaluation réalisée par les auteurs montre en outre qu'elle ne changerait en rien la superficie irriguée et ne modifierait guère les prélèvements d'eau par rapport à aujourd'hui.

Indépendamment de la superficie, le volume actuel et prévu des prélèvements d'eau par hectare de terres irriguées revêt une grande importance pour le calcul de la demande totale d'eau d'irrigation. Entrent en jeu la consommation d'eau des cultures, l'écart entre les quantités nécessaires à la croissance des plantes cultivées et les précipitations, ainsi que le système d'irrigation et d'acheminement de l'eau.

Les projections des *Perspectives de l'environnement* misent sur des gains d'efficacité dans les pays de l'OCDE correspondant aux tendances observées dans le cadre des politiques en vigueur. Ailleurs, faute de savoir si, et jusqu'à quel point, des progrès comparables peuvent être attendus en l'absence de mesures spécifiques, l'efficacité d'utilisation est maintenue constante pour chaque région et estimée à partir d'une analyse des technologies et des pratiques de gestion actuelles (modèle LPJmL, Fader, 2010).

Les besoins des cultures peuvent être modifiés par le changement climatique : une température plus élevée induit une plus grande évapotranspiration, et les modifications des précipitations (saisonniers) peuvent orienter la demande d'irrigation à la baisse ou à la hausse. S'ajoute l'efficacité d'utilisation de l'eau par les végétaux, qui s'améliore en principe à mesure que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère s'élève. Le modèle LPJ fait l'hypothèse d'un effet relativement marqué, mais l'influence de ce mécanisme n'est pas définitivement établie par les experts.

Le transport de l'eau d'irrigation peut entraîner des déperditions sous diverses formes, telles que l'arrosage excessif, les fuites des canaux ou des réseaux de tuyaux, l'évaporation à partir des canaux à ciel ouvert et des sols, les pertes liées à l'aspersion, etc. Selon les estimations, le pourcentage ainsi perdu à l'échelle mondiale va en moyenne de 40 % à plus de 50 %.

Projections relatives aux autres secteurs

Dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, la demande d'eau à usage domestique est multipliée par 2.3 entre 2000 et 2050. Elle s'accroît plus vite que la population, parallèlement à l'élévation du revenu disponible par habitant et au raccordement d'une plus large part de la population aux réseaux de distribution d'eau courante. L'utilisation à des fins industrielles augmente d'un facteur cinq au cours de la même période, la valeur ajoutée étant multipliée par plus de sept. En dernier lieu, les projections indiquent une augmentation des quantités destinées à la production d'électricité de 2.5 fois d'ici à 2050.

Hypothèses du scénario d'efficacité des ressources dans le cas de l'eau

En faisant simplement varier certains paramètres (scénario hypothétique « Et si ...? »), on a étudié les possibilités d'atténuer le stress hydrique observé dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* en réduisant la demande (van den Berg *et al.*, 2011).

Les hypothèses sont les suivantes :

- Pour l'irrigation, tous les pays non membres de l'OCDE sont supposés parvenir à un gain d'efficacité supérieur de 15 % à celui du *scénario de référence*. En effet, Fischer *et al.* (2007) ont extrapolé une hypothèse de la FAO (Bruinsma, 2003), à savoir une amélioration de 10 % d'ici à 2030 atteignant 20 % en 2080. Étant entendu que le taux d'amélioration annuel diminue dans le temps, cela concorde avec notre hypothèse d'augmentation de l'efficacité de 15 % à l'horizon 2050. Pour les pays membres, des progrès allant au-delà du *scénario de référence* sont jugés moins probables, et les paramètres restent donc inchangés dans ce scénario hypothétique ; on suppose que l'irrigation concernant la zone OCDE a atteint un niveau maximal d'efficacité dans le *scénario de référence* car les risques de salinisation et les problèmes de pollution se conjuguent avec une évapotranspiration de l'eau d'irrigation dépassant 70 % (Fraiture *et al.*, 2007).
- Pour les usages domestiques et manufacturiers, on table sur des économies d'eau comparables aux économies d'énergie. En conséquence, par rapport au *scénario de référence*, la demande d'eau dans chaque région est réduite proportionnellement aux économies d'énergie dans le scénario d'*efficacité des ressources* (van den Berg *et al.*, 2011).
- Ce scénario retient les mêmes hypothèses que le scénario *450 base* étudié dans le chapitre sur le changement climatique (pour d'autres précisions, voir chapitre 3, section 4). L'énergie solaire et l'énergie éolienne occupent des parts plus grandes que l'énergie thermique, mais jusqu'à 2050 le rééquilibrage supposé en faveur des centrales bio-énergétiques (thermiques) et nucléaires limite l'ampleur de la réduction globale dans ce secteur. La réduction de la demande d'énergie postulée dans le point précédent se traduit directement par une moindre demande d'eau destinée au refroidissement.
- Aucun ajustement n'a été apporté pour le secteur de l'élevage. Certes, la demande pourrait bien baisser grâce à l'amélioration de l'alimentation animale et des coefficients de conversion. Toutefois, aucun travail n'a été entrepris pour en chiffrer l'effet car la demande est déjà si faible dans le *scénario de référence* qu'une éventuelle modification serait négligeable par rapport à la marge d'incertitude entourant chacune des autres catégories de demande dont le poids est beaucoup plus lourd.
- Enfin, dans le scénario (mondial) d'*efficacité des ressources*, le changement climatique est loin d'être aussi marqué que dans le *scénario de référence*, d'où des températures moins élevées et des concentrations plus faibles de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Étant donné le bilan tiré du modèle LPJmL, une demande légèrement plus élevée d'eau d'irrigation pourrait s'ensuivre. Les différences jusqu'en 2050 paraissent cependant relativement faibles, et elles ne sont pas quantifiées ici.

C'est ainsi qu'en 2050, la demande totale d'eau pourrait être réduite de 25 % environ selon le scénario d'*efficacité des ressources* et ramenée à 4 140 km³, contre 5 465 km³ dans le *scénario de référence*. La différence s'explique principalement par la réduction de la demande d'eau imputable à la production

d'électricité (37 % de moins en 2050), puis par les demandes correspondant aux usages domestiques et manufacturiers (baisses respectives de près de 30 %).

Qualité de l'eau

Scénario de référence

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

Les apports d'éléments nutritifs dans les eaux usées urbaines ont été calculés suivant l'approche décrite par Van Drecht *et al.* (2009). En ce qui concerne l'azote (N), les rejets anthropiques correspondent aux quantités évacuées dans les eaux usées par les ménages et les industries raccordés au même réseau d'égouts. L'équation générale retenue pour calculer les rejets anthropiques de N qui se retrouvent dans les eaux de surface est la suivante :

$$E_{sw}^N = E_{hum}^N D(1 - R^N) \quad (1)$$

où E_{sw}^N est le rejet de N dans les eaux de surface (en kg/personne/an), E_{hum}^N le rejet anthropique de N (en kg/personne/an), D la fraction de la population totale raccordée au réseau d'égouts (sans dimension) et R^N l'élimination globale de N par traitement des eaux usées (sans dimension). En ce qui concerne le phosphore (P), la quantité totale rejetée dans les eaux de surface est calculée comme suit :

$$E_{sw}^P = (E_{hum}^P + E_{Ldet}^P + \frac{E_{Ddet}^P}{D}) D(1 - R^P) \quad (2)$$

où E_{sw}^P est le rejet de P dans les eaux de surface (en kg/personne/an), E_{hum}^P le rejet anthropique de P (en kg/personne/an), E_{Ldet}^P le rejet de P provenant des détergents à lessive (en kg/personne/an), E_{Ddet}^P le rejet de P provenant des détergents pour lave-vaisselle (en kg/personne/an) et R^P l'élimination globale de P par traitement des eaux de surface (sans dimension). E_{Ddet}^P est calculé pour la population raccordée au réseau d'égouts. En divisant par D , on obtient une valeur qui s'applique à la population totale.

Les hypothèses retenues pour la population ayant accès à un assainissement amélioré, la population raccordée au réseau d'égouts, l'utilisation de détergents et l'élimination des éléments nutritifs dans les stations d'épuration sont récapitulées dans le tableau 5.A1.

Tableau 5.A1. Hypothèses du scénario de référence et réduction des quantités provenant de sources ponctuelles dans le scénario de recyclage et de réduction des éléments nutritifs

Paramètre	Scénario de référence	Réduction des quantités provenant de sources ponctuelles dans le scénario de recyclage et réduction des éléments nutritifs
Population	Données du scénario de référence.	Identique au scénario de référence.
PIB par habitant	Données du scénario de référence.	Identique au scénario de référence.
Urbanisation	Données du scénario de référence.	Identique au scénario de référence.
Proportion de la population ayant accès à un assainissement amélioré.	2030 : l'écart entre le pourcentage de la population urbaine disposant d'un assainissement amélioré en 2000 et la situation où 100 % de la population en bénéficie est réduit de 50 % ; 2050 : l'écart entre pourcentage de la population urbaine disposant d'un assainissement amélioré en 2030 et la situation où 100 % de la population en bénéficie est réduit de 50 %.	Identique au scénario de référence.
Proportion de la population raccordée au réseau d'égouts.	L'écart entre la situation en 2000 et la situation où 100 % de la population est raccordée est réduit de 50 % sur la période 2000-2030 et reste constant ensuite.	Identique au scénario de référence ; en 2030, 25 % des urines provenant des ménages raccordés sont collectées et recyclées dans l'agriculture ; en 2050, la proportion est de 50 %.
Utilisation de détergents.	L'utilisation de détergents à lessive et la fraction de détergents à lessive sans P, ainsi que l'utilisation de lave-vaisselle automatique et la fraction de détergents pour lave-vaisselle sans P, sont entièrement fonction du PIB.	En 2030, 25 % des détergents à base de P seront remplacés par détergents sans P ; en 2050, la proportion est de 50 %.
Élimination de N et de P par les stations d'épuration.	L'élimination de N et de P par les stations d'épuration augmente grâce au passage progressif à des catégories de traitement utilisant des technologies plus poussées. L'efficacité de l'élimination par catégorie reste stable ; 50 % de chaque catégorie de traitement passe à la catégorie supérieure sur la période 2000-2030, et l'évolution se poursuit, pour 50 % de chaque catégorie, sur la période 2030-2050 (50 % de la catégorie « sans traitement » est remplacée par un traitement mécanique ; 50 % du traitement mécanique est remplacé par un traitement biologique ; 50 % du traitement biologique est remplacé par un traitement avancé).	Identique au scénario de référence.

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

Les données sur l'application d'engrais, l'épandage de fumier et l'efficacité d'utilisation renvoient aux tendances décrites dans l'étude de la FAO intitulée *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030* (Bruinsma, 2003), croisées avec des données sur la production végétale et animale provenant du modèle IMAGE.

De façon générale, le *scénario de référence* suppose que les agriculteurs des pays caractérisés par un excédent d'éléments nutritifs vont s'attacher à appliquer les engrais de façon de plus en plus rationnelle. Dans le cas de la Chine, en particulier, l'hypothèse veut que l'utilisation d'engrais à base de P (engrais phosphatés) soit rapidement ramenée à des niveaux comparables à ceux des pays d'Europe et d'Amérique du Nord, d'où une réduction des rejets dans les eaux de surface. Dans les pays affichant un déficit d'éléments nutritifs, les rejets dans les eaux de surface devraient augmenter parallèlement à l'utilisation croissante d'engrais.

Le total des excédents est calculé à partir de la somme des entrées. Les apports d'azote (N) incluent la fixation biologique (N_{fix}), le dépôt d'azote atmosphérique (N_{dep}), l'application d'engrais azotés de synthèse (N_{fert}) et le fumier de ferme (N_{man}). S'agissant des sorties, les quantités de N soustraites du sol dans les champs correspondent à la récolte des cultures, au fauchage de l'herbe et du foin et à l'herbe consommée par les animaux brouteurs (N_{withdr}). Le bilan azoté du sol (N_{budget}) a été calculé comme suit :

$$N_{\text{budget}} = N_{\text{fix}} + N_{\text{dep}} + N_{\text{fert}} + N_{\text{man}} - N_{\text{withdr}} \quad (1)$$

Selon que le bilan est positif ou négatif, on parle d'excédent ou de déficit. La même démarche a été employée pour le phosphore (P), apporté sous la forme de fumier de ferme et d'engrais. Un excédent de P représente une perte potentielle dans l'environnement ; dans le cas de l'azote, cette perte passe par la volatilisation de NH_3 , la dénitrification, le ruissellement superficiel et le lessivage ; dans celui du phosphore, elle correspond au ruissellement et à l'accumulation d'éléments nutritifs dans le sol. Un bilan négatif indique un appauvrissement des sols en azote ou en phosphore. Pour d'autres précisions sur les divers termes de l'équation (1) et les incertitudes, on peut se reporter à une lecture critique de la littérature récente (Bouwman *et al.*, 2009 ; 2011).

La production animale joue un rôle majeur dans les bilans d'éléments nutritifs des terres cultivées. Son augmentation se répercute sur le stockage de fumier et les volumes qui peuvent être épandus, et constitue donc un important facteur de hausse dans les bilans d'azote et de phosphore des sols arables. La production de fumier résulte de l'accroissement de la production animale, du processus d'intensification et d'une plus grande productivité. La part du fumier de ferme dans le bilan azoté total des terres cultivées ne dépasse pas 6 à 14 % dans les pays de l'OCDE, alors qu'elle va jusqu'à 50 % dans certains pays africains. Les animaux contribuent pour 38 % à l'apport total d'azote en Inde, et pour 18 % en Chine. Comme dans le cas des terres cultivées, l'utilisation des pâturages par les ruminants entraîne des excédents. Les pertes d'azote imputables à la volatilisation de NH_3 , à la dénitrification et au lessivage sont en effet inévitables. S'agissant du phosphore, c'est l'accumulation de P résiduel via l'adsorption par les particules du sol qui explique les excédents.

Dans l'étude de la FAO (Bruinsma, 2003) les hypothèses concernant l'efficacité d'utilisation des engrais faisaient intervenir des considérations économiques et agronomiques, ainsi que les caractéristiques pédologiques et climatiques du pays considéré. L'utilisation d'engrais pourrait être modifiée par l'essor de la production et les évolutions en termes d'efficacité.

L'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs est analysée de diverses manières (Ladha *et al.*, 2005). La présente édition des *Perspectives de l'environnement* retient le concept d'efficacité apparente de l'utilisation d'azote et de phosphore (soit, respectivement, EUN et EUP), à savoir la production exprimée en kg de matière sèche par kg d'engrais azoté ou phosphaté (Dobermann et Cassman, 2004, 2005 ; Bouwman *et al.*, 2009). C'est le moyen le plus complet de mesurer l'efficacité d'utilisation de l'azote et du phosphore, ou « la productivité partielle des facteurs » (Dobermann et Cassman, 2004 et 2005). L'EUN et l'EUP prennent en compte le rôle des éléments nutritifs naturellement présents dans les sols, l'absorption des engrais et le coefficient de conversion en produits végétaux récoltés. L'UEN et l'UEP varient selon les pays en raison des différences concernant les variétés cultivées, les rendements potentiels,

la qualité des sols, ainsi que les quantités apportées et les modalités d'application et de gestion. Par exemple, les valeurs très élevées observées dans de nombreux pays africains et latino-américains viennent du fait que les taux d'application d'engrais sont actuellement bas ; l'UEN et l'UEP sont bien plus faibles dans nombre de pays industrialisés caractérisés par des systèmes agricoles à forte intensité d'intrants. Les pays d'Europe orientale et de l'ex-Union soviétique ont quant à eux enregistré une rapide diminution de l'utilisation d'engrais après 1990, entraînant une forte augmentation apparente de l'efficacité d'utilisation des engrais.

Dans le *scénario de référence*, les agriculteurs des pays affichant un excédent d'éléments nutritifs tendent à utiliser les engrais de façon de plus en plus rationnelle. On suppose, pour la Chine, que l'utilisation d'engrais phosphatés (P) sera rapidement ramenée à des niveaux d'UEP comparables à ceux de l'Europe et de l'Amérique du Nord et, pour la Chine et l'Inde, que la baisse se poursuivra jusqu'en 2050, d'où une réduction des rejets dans les eaux de surface. Dans les pays présentant un déficit en éléments nutritifs, les rejets dans les eaux de surface devraient progressivement augmenter en raison de l'utilisation croissante d'engrais.

Voir la section 2.3 du chapitre 2 sur les évolutions socio-économiques, ainsi que l'encadré 3.2 du chapitre 3 sur le changement climatique, pour les hypothèses concernant les tendances de l'agriculture.

Scénario de recyclage et réduction des éléments nutritifs

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

Ce scénario suppose que les urines de la population raccordée au réseau d'égouts seront collectées et recyclées dans l'agriculture à hauteur de 25 % en 2030 et de 50 % en 2050. Il table aussi sur un remplacement progressif des détergents à base de phosphore (P) par d'autres, sans P (sans phosphates), entre 2030 et 2050 (tableau 5.A1).

Les possibilités de recyclage du phosphore (P) sont bien plus importantes. L'hypothèse veut que le total des quantités extraites chaque année par le traitement des eaux usées, soit 0.7 million de tonnes en 2000, passe à 1.7 million de tonnes en 2030, puis à 3.3 millions de tonnes en 2050. En utilisant ces quantités extraites pour produire des engrais phosphatés, on pourrait répondre à 15 % des besoins de phosphore prévus en agriculture (22 millions de tonnes par an en 2050). Toutefois, des efforts considérables s'imposeraient pour éliminer les métaux lourds, les produits pharmaceutiques et autres produits chimiques des boues d'épuration.

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

Ce scénario consiste à associer différentes stratégies dans le système de production végétale et animale, comme suit, pour améliorer la productivité tout en augmentant l'efficacité d'utilisation des éléments fertilisants.

- Dans les systèmes de production végétale, le gain de rendement postulé dépasse de 40 % celui du *scénario de référence*. D'où une production plus importante par unité de surface, et par conséquent une superficie récoltée moins grande que dans le *scénario de référence*. Il serait possible d'y parvenir si à la fois l'utilisation d'engrais et l'efficacité d'utilisation étaient plus élevées que dans le *scénario de référence* ; on suppose que l'accroissement du rendement correspond, pour moitié, à l'augmentation de l'utilisation d'engrais et, pour l'autre moitié, à l'amélioration des variétés cultivées et des pratiques de gestion, qui se traduit par une plus grande efficacité.
- On table également sur une transformation profonde dans la filière animale. Les modifications ci-dessous ont été apportées par rapport au *scénario de référence* :

- la production dans les systèmes de production mixtes et intensifs est supérieure de 10 %, et par conséquent, la production pastorale est inférieure de 10 % ;
- l’efficacité alimentaire (quantité d’aliments pour animaux nécessaire, en kg, pour obtenir 1 kg de produit) dans les systèmes de production mixtes et industriels est inférieure de 10 % ;
- la productivité dans les systèmes mixtes et industriels est supérieure de 10 % (quantité de lait produite par animal et par an, et poids de carcasse des ruminants) ;
- le taux d’exploitation (proportion d’animaux abattus, par rapport au cheptel) est supérieur de 10 % ; et
- la proportion d’aliments concentrés dans les rations alimentaires est supérieure de 18 % (3 à 10 % dans les pays industrialisés, et jusqu’à 65 % dans les pays en développement, où l’utilisation de concentrés est actuellement limitée).

Toutes ces modifications influent sur l’utilisation des différents aliments du bétail, y compris sur les cultures fourragères. Le modèle IMAGE en tient compte. Cet ensemble de stratégies aboutit à une meilleure efficacité d’utilisation de l’azote (N) et du phosphore (P) ; en outre, on suppose que les taux d’excrétion de N et de P se situent à 90 % des chiffres du *scénario de référence*.

- Une dernière stratégie consiste à mieux intégrer le fumier de ferme dans la production végétale, d’où une réduction de l’utilisation d’engrais.

Populations et richesses exposées aux catastrophes liées à l’eau

Le *scénario de référence des Perspectives de l’environnement* suppose que le changement climatique ne jouera pas (encore) un rôle déterminant dans les catastrophes liées aux inondations en 2050. Cette hypothèse renvoie au rapport spécial du GIEC sur la gestion des risques d’événements extrêmes et de catastrophes en vue d’une meilleure adaptation aux changements climatiques (*Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*) (GIEC, 2011). Laurens Bouwer montre aussi que dans les 40 années à venir, l’accroissement démographique et l’augmentation du PIB l’emporteront largement sur le changement climatique parmi les facteurs en cause dans les risques accrus de catastrophes imputables aux inondations (Bouwer, 2011).

Pour l’analyse évoquée dans la section 5.2 des *Perspectives* sur les catastrophes liées à l’eau, une carte statique des inondations a été recoupée avec des cartes dynamiques de la population et du PIB pour 2010 et 2050. Les données ci-dessous ont été exploitées pour cartographier les zones inondables :

- la base de données détaillée sur les inondations de l’Université de Dartmouth (images satellitaires), <http://floodobservatory.colorado.edu/> ;
- les plaines inondables répertoriées dans la base de données mondiale sur les lacs et les zones humides (Global Lakes and Wetlands Database) (Lehner et Döll, 2004) ; et
- la carte établie selon le modèle numérique d’élévation de la mission topographique de la navette spatiale (SRTM) sur les zones côtières à basse altitude exposées à un risque d’inondation par la mer (ont été retenues les zones côtières situées à 5 mètres maximum au-dessus du niveau de la mer), www2.jpl.nasa.gov/srtm/.

Les trois cartes mises au point ont été fusionnées en une seule. La principale incertitude est liée au fait que celle-ci ne précise ni la périodicité ni la hauteur des inondations. La période de retour théorique correspond à l'inverse de la probabilité que l'événement soit *dépassé* une année quelconque. Ainsi, pour une crue décennale (période de retour de 10 ans), la probabilité de dépassement une année quelconque est de 1 sur 10 (= 0.1 ou 10 %) et, pour une crue cinquantiennale (période de retour de 50 ans), elle est de 1 sur 50 (= 0.02 ou 2 %)².

Les données sur la population et le PIB proviennent du modèle GISMO (Global Integrated Sustainability Model) de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL) (voir l'annexe 6.A1 du chapitre 6 sur la santé et l'environnement). Les données du projet GRUMP (Global Rural-Urban Mapping Project) sur la population urbaine et rurale sont disponibles pour 2010 et 2050. Le PIB est calculé en parités de pouvoir d'achat (PPA) par habitant au niveau national. Les PPA donnent la valeur approchée des biens à un endroit donné pour l'estimation des pertes liées aux risques d'inondations.

Pour croiser les données démographiques avec les données plus détaillées sur les inondations, on a affiné les résultats du modèle GISMO en ramenant le maillage de 0.5 degré à 30 secondes d'arc. S'agissant de la population, la répartition urbaine/rurale correspondant à cette résolution a été opérée d'après l'ensemble de données GRUMP³, complété par les données LandScan 2007. Le PIB a été ramené à la nouvelle échelle et régionalisé à l'aide des données démographiques affinées et des parités de pouvoir d'achat (PPA) par habitant. Dans le passage de 0.5 degré à 30 secondes d'arc, le principal facteur d'incertitude vient du fait que le maillage de la population est fondé sur les chiffres du projet GRUMP et les parts indiquées par les données LandScan 2007. L'augmentation de la population est donc envisagée en fonction du périmètre actuel des zones urbaines, sans tenir compte de leur extension, ni de l'apparition de nouvelles villes. L'utilisation du PIB exprimé en PPA au niveau national permet simplement de se rapprocher de la valeur réelle des bâtiments, infrastructures et biens dans certains endroits à l'intérieur d'un pays.

Les villes les plus vulnérables ont été déterminées à partir des chiffres obtenus concernant les populations et les richesses exposées et d'une carte des villes dans le monde. Toutes les mailles ont été classées selon une fourchette allant de 0 à 1, d'après le nombre de personnes exposées (1 correspondant au nombre le plus élevé) et la valeur du PIB exposé, en tant qu'indicateur approximatif de la capacité d'adaptation (1 correspondant à la valeur du PIB la plus faible). Les résultats des deux classements ont été additionnés. Ainsi a été établie une liste des villes les plus vulnérables aux inondations, arrivant en tête de l'exposition à la fois en termes de population et de valeur des biens.

Approvisionnement en eau et assainissement

Les niveaux de distribution d'eau et d'assainissement ont été modélisés séparément pour les populations urbaines et rurales au moyen de régressions fondées sur les données disponibles pour 1990 et 2000 (OMS/UNICEF, 2008). Parmi les variables explicatives figurent le PIB par habitant, le taux d'urbanisation et la densité démographique. Le calage du modèle fait intervenir des paramètres spécifiques des régions.

Les coûts allant de pair avec les taux de raccordement indiqués par les projections renvoient aux calculs de Hutton et Haller (2004), qui ont estimé les coûts annuels pour divers taux de raccordement. Leurs hypothèses concernant les coûts annualisés se réfèrent aux coûts d'investissement et récurrents, les montants étant tirés des ouvrages publiés. Par exemple, les coûts annuels vont de 10 et 15 USD par personne pour l'eau courante à domicile, et de 1 à 4 USD par personne pour les autres types de raccordement à des réseaux d'approvisionnement améliorés. Il convient de noter que les coûts obtenus dans cette simulation sont approximatifs, car les catégories et régions ne coïncident pas exactement avec celles de Hutton et Haller. S'ajoute le risque de sous-estimation qu'entraîne à la longue la transposition des coûts d'investissement initiaux en coûts annuels.

NOTES DE L'ANNEXE

¹ L'application d'une règle simple, faisant varier l'irrigation avec l'augmentation de la population selon un facteur pondéré en fonction de la région (Shen, 2008), aux projections du *scénario de référence* des *Perspectives* ferait apparaître une augmentation de 25 % par rapport au niveau actuel.

² http://en.wikipedia.org/wiki/Return_period

³ Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University ; Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI) ; Banque mondiale ; et Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. Global Rural-Urban Mapping Project, version 1 (GRUMPv1), Palisades, NY : Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, consultable à l'adresse <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>.

Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050

Ces quatre dernières décennies, l'humanité a bénéficié d'une croissance et d'une prospérité sans précédent ; la taille de l'économie mondiale a plus que triplé depuis 1970, tandis que la population de la planète augmentait de plus de 3 milliards de personnes pour atteindre 7 milliards aujourd'hui. Or cette croissance s'est accompagnée d'une pollution de l'environnement et d'un épuisement des ressources naturelles qui pourraient bien, à terme, compromettre le développement humain. Si la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles continuent de figurer parmi les grandes priorités de l'action publique, de nombreux pays doivent aussi faire face à une croissance économique en berne, des finances publiques sous haute tension et des taux de chômage élevés. Pour s'attaquer à ces défis pressants tout en répondant aux besoins des plus de 9 milliards d'habitants que devrait compter le monde en 2050, il est indispensable de trouver de nouvelles sources de croissance, plus « vertes ».

« Que réservent les quatre décennies à venir ? » : telle est la question posée par les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*. Cette étude, qui s'appuie sur les travaux de modélisation menés conjointement par l'OCDE et l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), se projette dans l'année 2050 pour imaginer quelles répercussions les tendances économiques et démographiques pourraient avoir sur l'environnement si le monde n'adopte pas de politiques vertes plus ambitieuses. Elle cherche aussi à déterminer quelles politiques seraient susceptibles d'améliorer ces perspectives. Les principaux domaines abordés sont le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les effets de la pollution sur la santé, quatre défis environnementaux majeurs identifiés dans les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2030* (OCDE, 2008) comme des « feux rouges » nécessitant une attention urgente.

Contenu

Résumé

Chapitre 1 : Introduction

Chapitre 2 : Évolutions socio-économiques

Chapitre 3 : Changement climatique

Chapitre 4 : Biodiversité

Chapitre 5 : Eau

Chapitre 6 : Santé et environnement

Annexe A : Cadre de modélisation