

# LES EAUX USÉES

## UNE RESSOURCE INEXPLOITÉE



WWDR  
2017



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



Programme  
mondial pour  
l'évaluation des  
ressources en eau



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



CEE, CEPALC,  
CESAO, CESAP

ONU HABITAT  
POUR UN MEILLEUR AVENIR URBAIN



Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017

# LES EAUX USÉES

## UNE RESSOURCE INEXPLOITÉE

Publié en 2017 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07-SP

© UNESCO 2017

Tous droits réservés

Le présent rapport est publié par l'UNESCO pour ONU-Eau. La liste des membres et partenaires d'ONU-Eau est disponible à l'adresse suivante : <http://www.unwater.org>

*Chapitres 2, 4 et 7* : L'auteur est un membre du personnel de l'Organisation mondiale de la Santé. Les opinions exprimées dans la présente publication n'engagent que l'auteur et elles ne représentent pas nécessairement les décisions, politiques ou opinions de l'Organisation mondiale de la Santé. Aucun élément contenu ici ne saurait être interprété comme une renonciation aux privilèges et immunités dont bénéficie l'OMS devant toute juridiction nationale.

*Chapitre 7* : Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles du ou des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les opinions ou politiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

*Chapitre 9* : Par Annukka Lipponen ; contribution au Chapitre 3 : Nataliya Nikiforova © United Nations.

*Chapitres 12, 15, 16, 17* : Les opinions et les arguments exprimés ici sont uniquement celles du ou des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues officielles de l'OCDE ou de ses pays membres.

ISBN 978-92-3-200115-3



Citation suggérée :

WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau). 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Les eaux usées – Une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO.

Titre original : *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater – The Untapped Resource*.

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

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

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

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

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

Couverture originale conçue par Phoenix Design Aid

Imprimé par Dimensione Grafica, Foligno (Ombrie), Italie

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

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                      |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AVANT-PROPOS</b>                                                                  | <b>v</b>    |
| par Irina Bokova                                                                     | v           |
| Directrice générale de l'UNESCO                                                      | vi          |
| <b>AVANT-PROPOS</b>                                                                  | <b>vii</b>  |
| par Guy Ryder                                                                        | vii         |
| Président d'ONU-Eau et Directeur général de l'Organisation internationale du travail | vii         |
| <b>PRÉFACE</b>                                                                       | <b>viii</b> |
| Par Stefan Uhlenbrook, Coordinateur du WWAP                                          | viii        |
| et Richard Connor, Rédacteur en chef                                                 | viii        |
| <b>REMERCIEMENTS</b>                                                                 | <b>xi</b>   |
| <b>RÉSUMÉ</b>                                                                        | <b>1</b>    |
| <b>PROLOGUE   ÉTAT DES RESSOURCES EN EAU : DISPONIBILITÉ ET QUALITÉ</b>              | <b>8</b>    |

## PREMIÈRE PARTIE RÉFÉRENCE ET CONTEXTE

---

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CHAPITRE 1   INTRODUCTION</b>                                               | <b>16</b> |
| 1.1 Flux d'eaux usées                                                          | 20        |
| 1.2 Les eaux usées comme ressource : saisir les opportunités                   | 21        |
| <b>CHAPITRE 2   LES EAUX USÉES ET LE PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT DURABLE</b>    | <b>23</b> |
| 2.1 Programme de développement durable à l'horizon 2030                        | 24        |
| 2.2 Synergies et conflits potentiels                                           | 26        |
| <b>CHAPITRE 3   GOUVERNANCE</b>                                                | <b>29</b> |
| 3.1 Acteurs et rôles                                                           | 30        |
| 3.2 Politiques, législation et réglementation                                  | 31        |
| 3.3 Financement                                                                | 36        |
| 3.4 Aspects socioculturels                                                     | 37        |
| <b>CHAPITRE 4   ASPECTS TECHNIQUES DES EAUX USÉES</b>                          | <b>38</b> |
| 4.1 Sources et composantes des eaux usées                                      | 39        |
| 4.2 Impacts du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate | 41        |
| 4.3 Collecte et traitement des eaux usées                                      | 43        |
| 4.4 Besoins en données et informations                                         | 47        |



## DEUXIÈME PARTIE

### AXES THÉMATIQUES

---

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CHAPITRE 5   EAUX USÉES MUNICIPALES ET URBAINES</b>                              | <b>50</b> |
| 5.1 L'urbanisation et son impact sur la production d'eaux usées                     | 51        |
| 5.2 Formes urbaines                                                                 | 51        |
| 5.3 Sources d'eaux usées dans les systèmes municipaux et urbains                    | 53        |
| 5.4 Composition des eaux usées urbaines et municipales                              | 54        |
| 5.5 Forme urbaine et potentiel d'utilisation des eaux usées urbaines et municipales | 56        |
| 5.6 Gestion des eaux de ruissellement urbain                                        | 59        |
| <b>CHAPITRE 6   INDUSTRIE</b>                                                       | <b>60</b> |
| 6.1 Ampleur de la production des eaux usées industrielles                           | 61        |
| 6.2 Nature des eaux usées industrielles                                             | 63        |
| 6.3 Relever le défi des ressources                                                  | 64        |
| 6.4 Eaux usées et développement industriel durable                                  | 70        |
| <b>CHAPITRE 7   AGRICULTURE</b>                                                     | <b>71</b> |
| 7.1 L'agriculture source de pollution de l'eau                                      | 72        |
| 7.2 L'agriculture utilisateur des eaux usées                                        | 75        |
| <b>CHAPITRE 8   ÉCOSYSTÈMES</b>                                                     | <b>80</b> |
| 8.1 Le rôle et les limites des écosystèmes dans la gestion des eaux usées           | 81        |
| 8.2 Utilisation planifiée des eaux usées pour les services écosystémiques           | 82        |
| 8.3 Aspects opérationnels et politiques                                             | 84        |

## TROISIÈME PARTIE

### ASPECTS RÉGIONAUX

---

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CHAPITRE 9   AFRIQUE</b>                          | <b>86</b> |
| 9.1 L'eau et les eaux usées en Afrique subsaharienne | 87        |
| 9.2 Défis majeurs                                    | 87        |
| 9.3 Les perspectives d'avenir                        | 91        |

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CHAPITRE 10   PAYS ARABES</b>                                                    | <b>93</b>  |
| 10.1 Contexte                                                                       | 94         |
| 10.2 Défis                                                                          | 94         |
| 10.3 Réponses                                                                       | 96         |
| <b>CHAPITRE 11   ASIE ET PACIFIQUE</b>                                              | <b>98</b>  |
| 11.1 Contexte et défis                                                              | 99         |
| 11.2 Bâtir des infrastructures résilientes                                          | 99         |
| 11.3 Une approche systémique de la récupération des sous-produits<br>des eaux usées | 101        |
| 11.4 Besoins en matière de capacités et de réglementation                           | 101        |
| <b>CHAPITRE 12   EUROPE ET AMÉRIQUE DU NORD</b>                                     | <b>102</b> |
| 12.1 Contexte                                                                       | 103        |
| 12.2 Défis                                                                          | 103        |
| 12.3 Réponses                                                                       | 105        |
| <b>CHAPITRE 13   AMÉRIQUE LATINE ET CARAÏBES</b>                                    | <b>108</b> |
| 13.1 Le défi des eaux usées urbaines                                                | 109        |
| 13.2 Développement récent du traitement des eaux usées urbaines                     | 110        |
| 13.3 Problèmes persistants et possibilités d'expansion                              | 111        |
| 13.4 Avantages du traitement des eaux usées urbaines                                | 111        |
| 13.5 Autres sources d'eaux usées                                                    | 112        |
| 13.6 Enseignements                                                                  | 112        |

## QUATRIÈME PARTIE RÉPONSES POSSIBLES

---

|                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CHAPITRE 14   PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA PRODUCTION D'EAUX<br/>USÉES ET LES CHARGES POLLUANTES À LA SOURCE</b> | <b>114</b> |
| 14.1 Mécanismes de surveillance et de lutte contre la pollution                                               | 115        |
| 14.2 Réponses techniques                                                                                      | 117        |
| 14.3 Approches financières et évolution des comportements                                                     | 120        |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CHAPITRE 15   RENFORCER LA COLLECTE ET LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES</b>                          | <b>121</b> |
| 15.1 Égouts et assainissement hydrique                                                              | 122        |
| 15.2 Réseaux d'assainissement à faible coût                                                         | 122        |
| 15.3 Réseau d'égout unitaire                                                                        | 123        |
| 15.4 Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS)                                   | 123        |
| 15.5 Gestion décentralisée des eaux pluviales                                                       | 123        |
| 15.6 Évolution des techniques de traitement                                                         | 124        |
| 15.7 Extraction d'eaux usées et séparation des composants                                           | 125        |
| <b>CHAPITRE 16   RÉUTILISATION DE L'EAU ET RÉCUPÉRATION DES RESSOURCES</b>                          | <b>126</b> |
| 16.1 Valorisation des eaux usées                                                                    | 127        |
| 16.2 Récupération des ressources issues des eaux usées et des biosolides                            | 131        |
| 16.3 Modèles d'activité et approches économiques                                                    | 134        |
| 16.4 Réduire au minimum les risques pour la santé humaine et l'environnement                        | 136        |
| 16.5 Réglementation relative à la réutilisation de l'eau                                            | 137        |
| 16.6 Acceptation sociale de l'utilisation des eaux usées                                            | 138        |
| <b>CHAPITRE 17   CONNAISSANCES, INNOVATION, RECHERCHE ET RENFORCEMENT DES CAPACITÉS</b>             | <b>139</b> |
| 17.1 Tendances en matière de recherche et d'innovation                                              | 140        |
| 17.2 Lacunes en matière de compétences, de technologies et de renforcement des capacités            | 140        |
| 17.3 Tendances futures dans le domaine de la gestion des eaux usées                                 | 143        |
| 17.4 Renforcement des capacités, sensibilisation du public et collaboration entre parties prenantes | 144        |
| <b>CHAPITRE 18   CRÉER UN ENVIRONNEMENT FAVORABLE</b>                                               | <b>146</b> |
| 18.1 Choix techniques                                                                               | 148        |
| 18.2 Cadres juridiques et institutionnels                                                           | 149        |
| 18.3 Opportunités de financement                                                                    | 150        |
| 18.4 Amélioration des connaissances et renforcement des capacités                                   | 152        |
| 18.5 Atténuation des risques pour la santé humaine et environnementale                              | 152        |
| 18.6 Promotion de l'acceptation sociale                                                             | 153        |
| 18.7 Coda                                                                                           | 153        |
| <b>Références</b>                                                                                   | <b>154</b> |
| <b>Annexe 1 – Lexique</b>                                                                           | <b>176</b> |
| <b>Abréviations et acronymes</b>                                                                    | <b>179</b> |
| <b>Liste des encadrés, figures et tableaux</b>                                                      | <b>181</b> |
| <b>Crédits photos</b>                                                                               | <b>184</b> |

# AVANT-PROPOS

par Irina Bokova

Directrice générale de l'UNESCO

*Dans un monde où la demande en eau douce augmente sans cesse, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion des eaux usées.*

Telle est la conclusion du *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau 2017*, qui souligne l'importance capitale de l'amélioration de la gestion des eaux usées pour notre futur commun.

Conserver nos habitudes actuelles revient à favoriser l'aggravation des négligences qui sont déjà considérables. D'après les estimations, bien plus de 80 % des eaux usées à travers le monde (plus de 95 % dans certains pays en développement) sont rejetées dans l'environnement sans traitement. Les conséquences sont alarmantes. La pollution de l'eau s'aggrave dans la plupart des fleuves d'Afrique, d'Asie et d'Amérique Latine. En 2012, plus de 800 000 décès à travers le monde étaient causés par une eau potable contaminée, des installations de lavage de mains inadéquates et des services d'assainissement inappropriés. Dans les mers et les océans, les zones mortes désoxygénées causées par la décharge des eaux usées non traitées augmentent à un rythme soutenu, affectant environ 245 000 km<sup>2</sup> d'écosystèmes marins, ce qui a un impact sur la pêche, les moyens de subsistance et les chaînes alimentaires.

Les eaux usées ont été longtemps considérées comme un fardeau en matière d'assainissement, lorsqu'elles ne sont pas tout simplement ignorées. Avec la raréfaction de l'eau dans plusieurs régions, cette situation connaît une évolution, et on reconnaît de plus en plus l'importance de la collecte, du traitement et de la réutilisation des eaux usées. La question des infrastructures constitue une préoccupation centrale dans tous les pays. La disponibilité des données reste un défi persistant, en particulier dans les pays en développement. D'après une analyse récente, sur 181 pays, seuls 55 disposent d'informations sur la génération, le traitement et l'utilisation des eaux usées, et les autres ne disposent que d'informations partielles ou n'en ont pas du tout. Dans la majorité des pays qui en disposent, ces données sont obsolètes. Ces goulets d'étranglement en matière d'information entravent la recherche et le développement nécessaires pour la mise en place de technologies innovantes et l'adaptation des technologies existantes aux spécificités et besoins locaux.

Le *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017* montre que la gestion améliorée des eaux usées implique aussi bien la réduction de la pollution à la source que l'élimination de contaminants des flux d'eaux usées, la réutilisation des eaux récupérées et la récupération de sous-produits utiles. Ensemble, ces quatre actions entraînent des avantages sociaux, environnementaux et économiques pour la société dans son intégralité, et contribuent au bien-être général et à la santé, ainsi qu'au développement durable. L'importance transversale des eaux usées est mise en exergue dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030, à travers l'Objectif de développement durable (ODD) 6 portant sur l'eau et l'assainissement, et plus particulièrement la Cible 6.3 portant sur

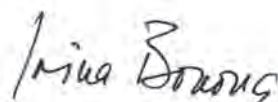
la réduction de moitié de la proportion d'eaux usées non traitées, et l'augmentation sensible du recyclage et de la réutilisation sans danger de l'eau à l'échelle mondiale.

Il est donc essentiel d'accroître l'acceptation sociale de l'utilisation des eaux usées afin de favoriser le progrès dans ce sens. C'est en cela que l'éducation et la formation, ainsi que les nouvelles formes de sensibilisation, sont importantes pour changer la perception des risques liés à la santé et aborder les préoccupations socioculturelles, afin de favoriser l'acceptation du public.

C'est également profitable. En tant que composante essentielle d'une économie circulaire, l'utilisation des eaux usées et la récupération des sous-produits peuvent générer de nouvelles opportunités d'affaires et permettre de récupérer de l'énergie, des nutriments, des métaux et d'autres sous-produits.

L'UNESCO, pour sa part, à travers sa famille de l'eau, œuvre à soutenir les États membres pour leur permettre de relever les défis liés à la qualité de l'eau, y compris avec le Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO, le Programme hydrologique international, l'Institut pour l'éducation relative à l'eau UNESCO-IHE basé à Delft, et de nombreux centres et chaires de catégorie II dans le monde. Notre action revêt plusieurs dimensions, de la promotion de la recherche scientifique, la mobilisation et vulgarisation des connaissances, la facilitation des échanges d'approches en matière de technologies et de politiques, jusqu'au renforcement de capacités et à la sensibilisation sur les risques liés aux polluants émergents dans l'eau et dans les eaux usées.

Comme d'habitude, le Rapport 2017 est le fruit d'un partenariat entre l'ensemble des composantes du système des Nations Unies, et entre les 31 membres d'ONU-Eau, à qui j'exprime ma profonde gratitude. Je remercie le Gouvernement italien pour son soutien au secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau en vue d'assurer sa durabilité et sa productivité à long terme. Dans cet esprit, j'invite chacun à faire siens le présent rapport et ses conclusions, et à devenir le porte-flambeau des approches nouvelles, justes et durables en matière de gestion des ressources en eau afin de garantir un avenir meilleur pour tous.



Irina Bokova

# AVANT-PROPOS

par **Guy Ryder**

Président d'ONU-Eau et Directeur général de l'Organisation internationale du travail

Au cinquième siècle avant Jésus-Christ, Héraclite aurait affirmé « le changement est la seule constante de la vie ». Aujourd'hui, ce constat est plus que jamais valable. Au fur et à mesure que les populations et les implantations urbaines croissent, nos besoins augmentent également, transformant nos sociétés et notre planète devant nos yeux.

L'édition 2017 du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau examine la question des eaux usées et de leur potentiel en tant que ressource durable. Toutefois, les conclusions indiquent l'ampleur de la tâche qui nous attend : « *À travers le monde, l'essentiel des eaux usées n'est ni collecté ni traité. En outre, la collecte des eaux usées en elle-même n'est pas synonyme du traitement des eaux usées. Très souvent, les eaux usées collectées sont simplement déchargées directement dans l'environnement sans aucun traitement. Les eaux de ruissellement agricole ne sont presque jamais collectées ou traitées, raison pour laquelle il n'existe pratiquement pas d'indicateurs de mesure relatifs à ces types d'eaux usées* ».

Bien évidemment, en plus d'être une opportunité gâchée, le rejet de l'essentiel des eaux usées dans l'écosystème sans aucun traitement a un impact considérable sur la santé humaine et le monde naturel.

L'édition 2017 du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, la publication phare d'ONU-Eau, met en évidence le fait que les eaux usées ont pendant longtemps été négligées ; or elles constituent non seulement une solution à la raréfaction croissante des ressources en eau, mais également une riche source de nutriments, de minéraux et d'énergie, lesquels peuvent tous en être tirés de manière efficace et rentable. S'inscrivant dans le prolongement de la Note d'analyse 2015 d'ONU-Eau sur la gestion des eaux usées, le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau examine également l'économie circulaire, l'innovation et plusieurs aspects régionaux.

Le rapport est un reflet sans équivoque du consensus entre les 31 Membres et 38 Partenaires d'ONU-Eau selon lequel les préoccupations liées aux eaux usées vont au-delà de l'Objectif de développement durable 6 et de sa cible liée aux eaux usées, et concerne de nombreuses cibles des ODD.

Je remercie tous mes collègues d'ONU-Eau pour leurs contributions, y compris l'UNESCO et son Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, pour la coordination de la production de ce rapport de qualité, qui pourrait avoir un impact considérable sur la réalisation des Objectifs de développement durable.



Guy Ryder



# PRÉFACE

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

L'édition 2017 du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, le quatrième d'une série de rapports thématiques annuels, aborde une question souvent négligée qui est essentielle à la gestion des ressources en eau et la fourniture des services fondamentaux liés à l'eau : les eaux usées.

La question des eaux usées n'est pas une simple question de gestion des ressources en eau. Elle affecte l'environnement et tous les êtres vivants, et peut avoir des impacts directs sur les économies, aussi bien matures qu'émergentes. Par ailleurs, les flux d'eaux usées contiennent un certain nombre de matières utiles, telles que des nutriments, des métaux et des matières organiques qui, tout comme l'eau elle-même, peuvent être extraites et utilisées à d'autres fins productives. À ce titre, les eaux usées constituent une précieuse ressource qui, si elle est gérée de façon durable, peut devenir un pilier essentiel de l'économie circulaire. Les retombées de l'amélioration de la façon dont nous gérons les eaux sont énormes, avec des avantages partagés pour les sociétés et l'environnement.

La notion d'eaux usées (*wastewater* en anglais) en elle-même constitue quelque peu un oxymore. Une fois que l'eau a été utilisée à quelque fin que ce soit, elle ne doit pas être considérée comme « gaspillée » (*wasted* en anglais). Dans d'autres langues, elle est nommée « eaux résiduelles » (*aguas residuales* en espagnol) ou « eaux après utilisation » (*Abwasser* en allemand). En effet, le message central du présent rapport est qu'il est nécessaire de changer de paradigme en passant de la notion selon laquelle l'eau utilisée est un déchet à éliminer, à la perception des eaux usées comme une ressource.

Lors de la préparation du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017, nous avons pu nous apercevoir qu'il existe un éventail de définitions des eaux usées, qui peuvent ne pas avoir le même sens pour tout le monde. Les ingénieurs, les urbanistes, les gestionnaires de l'environnement et les chercheurs, sans oublier de nombreux organismes des Nations Unies, ont abordé différents aspects des eaux usées dans de nombreux rapports, chacun avec une perspective et un vocabulaire propres. Nous nous sommes efforcés de nous appuyer sur plusieurs de ces documents, comme en témoigne la longue liste des références, afin de présenter un compte rendu équilibré, factuel et neutre de la masse de connaissances actuelles, couvrant les évolutions les plus récentes dans le domaine de la gestion des eaux usées, et les divers avantages et opportunités qu'elle offre dans un contexte d'économie circulaire.

Une gestion améliorée des eaux usées est essentielle à la croissance verte, en particulier dans le contexte du Programme de développement durable à l'horizon 2030. La cible 6.3 des Objectifs de développement durable (ODD) vise explicitement la réduction de la pollution et l'amélioration de l'élimination, de la gestion et du traitement des eaux usées et leur impact sur la qualité de l'eau ambiante. Cette cible est hautement pertinente pour la réalisation de plusieurs autres ODD.

La maximisation du potentiel des eaux usées en tant que ressource précieuse et durable nécessitera la création d'un environnement favorable au changement, et notamment des

cadres légaux et réglementaires appropriés, des mécanismes de financement appropriés, et l'acceptation sociale. Nous avons la conviction qu'avec la volonté politique nécessaire, nous pouvons rapidement et efficacement surmonter les obstacles actuels, tels que le manque de connaissances, de capacités, de données et d'informations sur les eaux usées.

Le présent rapport est destiné principalement aux décideurs et aux gestionnaires des ressources en eau, certes, mais nous espérons qu'il intéressera également l'ensemble de la communauté du développement, les chercheurs et toute personne intéressée par la construction d'un futur qui soit équitable et durable pour tous.

La dernière édition du Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau est le fruit de la conjugaison des efforts des organismes responsables (FAO, PNUD, CEE-ONU, PNUE, CESAP, UNESCO, CESA, ONU Habitat et ONUDI) et du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Par ailleurs, le rapport a bénéficié des contributions de plusieurs membres et partenaires d'ONU-Eau, des membres du Comité consultatif technique du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, ainsi que de très nombreux scientifiques, professionnels et ONG qui ont mis à disposition un large éventail de documents pertinents. Tout comme les précédentes éditions, le rapport prend en compte la dimension du genre.

Au nom du secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, nous exprimons nos sincères remerciements aux organismes mentionnés ci-dessus, aux membres et partenaires d'ONU-Eau, et aux rédacteurs, réviseurs et autres personnes ayant contribué à la production collective de ce rapport unique et bien documenté qui, nous l'espérons, aura de multiples effets positifs à travers le monde.

Notre profonde gratitude va à l'endroit du Gouvernement italien qui finance le Programme et à la Région Ombrie qui héberge le Secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau à Villa La Colombella, Pérouse. Leurs contributions ont été déterminantes dans la production du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau.

Nous remercions particulièrement Mme Irina Bokova, Directrice générale de l'UNESCO, pour son soutien essentiel au Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau et à la production du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. L'impulsion donnée par M. Guy Ryder, Directeur général de l'Organisation internationale du travail, a rendu possible la réalisation de la présente publication.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à tous nos collègues du Secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau, dont les noms sont énumérés dans les remerciements. Il n'aurait pas été possible d'achever ce rapport, n'eût été leur engagement et professionnalisme, particulièrement eu égard aux défis et difficultés liées aux séismes qui ont eu lieu en 2016 en Ombrie et dans les régions italiennes environnantes.



Stefan Uhlenbrook



Richard Connor

# ÉQUIPE DE PRODUCTION DU WWDR 2017

**Directeur de la Publication**

Stefan Uhlenbrook

**Rédacteur en chef**

Richard Connor

**Coordinateur du processus**

Engin Koncagül

**Chercheuse principale**

Angela Renata Cordeiro Ortigara

**Responsable de publications**

Diwata Hunziker

**Assistante de publications**

Valentina Abete

**Graphiste**

Marco Tonsini

**Relectrice**

Béatrice Serrano

**Comité technique consultatif du WWAP**

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

**Secrétariat du Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) en 2016**

*Coordinateur :*

Stefan Uhlenbrook

*Coordinatrice adjointe :*

Michela Miletto

*Programmes :*

Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Francesca Greco, Engin Koncagül et Lucilla Minelli

*Publications :*

Valentina Abete, Diwata Hunziker et Marco Tonsini

*Communications :*

Simona Gallese et Laurens Thuy

*Soutien administratif :*

Barbara Bracaglia, Lucia Chiodini, Arturo Frascani et Lisa Gastaldin

*Informatique et sécurité :*

Fabio Bianchi, Michele Brensacchi et Francesco Gioffredi

# REMERCIEMENTS

Le Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) remercie la FAO, le PNUD, la CEE-ONU, le PNUE, la CESAP, l'UNESCO, la CESAO, ONU-Habitat et l'ONUDI pour leurs précieuses contributions. Nous tenons également à remercier les membres et partenaires d'ONU-Eau, toutes les organisations, institutions, et tous les particuliers qui ont fourni des contributions et des commentaires utiles pendant les multiples cycles d'examen.

Le WWDR 2017 a bénéficié des examens, des commentaires et des conseils du Comité consultatif technique du WWAP.

Nous tenons à remercier sincèrement Irina Bokova, Directrice générale de l'UNESCO, dont le soutien a été déterminant pour la préparation du Rapport. Nous ne saurions oublier Flavia Schlegel, Sous-Directrice générale pour le Secteur des sciences exactes et naturelles, Blanca Jiménez-Cisneros, directrice de la Division des sciences de l'eau et secrétaire du Programme Hydrologique International (PHI) ainsi que les collaborateurs du PHI, qui nous ont encouragés et soutenus.

Nous apprécions vivement l'aide généreuse apportée par les bureaux hors siège de l'UNESCO à Almaty, Beijing, Brasilia, Le Caire, et New Delhi, pour la traduction du résumé en russe, chinois, portugais, arabe et hindi respectivement. Nous exprimons notre profonde gratitude à la Commission allemande pour l'UNESCO qui a assuré la traduction du résumé en allemand. Nous exprimons notre gratitude à Bruno Nguyen pour la relecture du Lexique.

Le WWAP est particulièrement reconnaissant envers le Gouvernement italien pour sa généreuse contribution financière et pour les installations mises à sa disposition par la Région Ombrie. Le rapport a également bénéficié d'un soutien financier de la part du Ministère des affaires étrangères de la Norvège.









# RÉSUMÉ

La plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux usées. Étant donné que la demande d'eau dans son ensemble augmente, la quantité d'eaux usées produites, et leur charge polluante globale, sont en augmentation constante dans le monde entier.

Dans tous les pays, à l'exception des plus développés, la grande majorité des eaux usées sont directement rejetées dans l'environnement, sans traitement adéquat, ce qui a des effets néfastes sur la santé humaine, la productivité économique, la qualité des ressources d'eau douce environnementales, et les écosystèmes.

Bien que les eaux usées soient un élément clé du cycle de gestion de l'eau, l'eau, après avoir été utilisée, est trop souvent considérée comme un fardeau à éliminer ou une gêne à ignorer. Les résultats de cette négligence sont à présent évidents. Les impacts immédiats, et notamment la détérioration des écosystèmes aquatiques et les maladies d'origine hydrique causées par un approvisionnement en eau douce contaminée, ont des répercussions importantes sur le bien-être des communautés et les moyens de subsistance des individus. L'incapacité persistante à considérer les eaux usées comme un problème social et environnemental majeur pourrait compromettre d'autres efforts déployés en vue de réaliser l'Agenda 2030 pour le développement durable.

Face à la demande en augmentation constante, les eaux usées prennent de l'ampleur en tant que source d'eau alternative fiable, modifiant ainsi le paradigme de la gestion des eaux usées de « traitement et élimination » à « réutilisation, recyclage et récupération de ressources ». À cet égard, les eaux usées ne sont plus considérées comme un problème en quête de solution, mais plutôt comme une partie de la solution aux défis auxquels les sociétés doivent faire face aujourd'hui.

Les eaux usées peuvent également être une source rentable et durable d'énergie, de nutriments, et d'autres sous-produits utiles. Les bénéfices potentiels

de l'extraction de ces ressources à partir des eaux usées dépassent de loin la santé humaine et l'environnement, et ont des implications sur la sécurité alimentaire et énergétique ainsi que sur l'atténuation du changement climatique. Dans un contexte d'économie circulaire, dans laquelle le développement économique est en équilibre avec la protection des ressources naturelles et le développement durable, les eaux usées représentent une ressource largement disponible et précieuse.

Les perspectives sont indéniablement optimistes, si les actions sont prises dès à présent.

## L'eau dans le monde : disponibilité et qualité

Dans le monde, une augmentation significative de la demande en eau est prévue dans les prochaines décennies. Outre le secteur agricole, qui est responsable de 70 % des prélèvements d'eau de la planète, des augmentations importantes de la demande en eau sont prévues pour la production industrielle et énergétique. L'urbanisation accélérée et l'expansion de l'approvisionnement en eau et des réseaux d'assainissement municipaux contribuent à la demande accrue.

Les scénarios portant sur le changement climatique prévoient une aggravation des variations spatiales et temporelles de la dynamique du cycle de l'eau, à tel point que les écarts entre l'approvisionnement et la demande en eau se creusent de plus en plus. La fréquence et la sévérité des inondations et des sécheresses vont probablement évoluer dans de nombreux bassins hydrographiques du monde. Les sécheresses peuvent avoir des conséquences socioéconomiques et environnementales très significatives. La crise en Syrie a été, entre autres facteurs, déclenchée par une sécheresse historique (2007–2010).

Les deux tiers de la population mondiale vit actuellement dans des zones qui souffrent de manque d'eau pendant au moins un mois par an. Quelques 500 millions de personnes vivent dans des régions où la consommation d'eau est deux fois plus élevée que les ressources hydriques renouvelables locales. Les zones hautement vulnérables, dans lesquelles les ressources non renouvelables (p. ex. Les eaux souterraines fossiles) continuent à diminuer, sont devenues fortement dépendantes des transferts en provenance de zones où l'eau est abondante, et recherchent activement des sources alternatives à coût abordable.

La disponibilité des ressources hydriques est également étroitement liée à la qualité de l'eau, étant donné que la pollution des sources hydriques peut exclure différents types d'utilisation. L'augmentation des rejets d'eaux usées non traitées, combinée au ruissellement agricole et au traitement inadéquat des eaux résiduelles de l'industrie, ont entraîné la dégradation de la qualité de l'eau dans le monde. Si les tendances actuelles se confirment, la qualité de l'eau continuera à se détériorer au cours des prochaines décennies, notamment dans les pays pauvres en ressources, situés dans des zones arides, mettant encore davantage en péril la santé humaine et les écosystèmes, contribuant au manque d'eau, et entravant le développement économique durable.

## Eaux usées: tendances mondiales

En moyenne, les pays à revenu élevé traitent environ 70% des eaux résiduelles municipales et industrielles qu'ils produisent. Ce pourcentage tombe à 38% dans les pays à revenu intermédiaire supérieur, et à 28% dans les pays à revenu intermédiaire inférieur. Dans les pays à faible revenu, seuls 8% de ces eaux usées subissent un traitement, quel qu'il soit. Ces estimations vont dans le sens de l'appréciation souvent citée selon laquelle il est probable que plus de 80% des eaux usées du monde soient rejetées sans traitement.

Dans les pays à revenu élevé, ce qui motive le recours à des traitements de pointe des eaux usées, c'est soit le maintien de la qualité de l'environnement, soit l'apport d'une source d'eau alternative pour faire face au manque d'eau. Cependant, l'émission d'eaux usées non traitées demeure une pratique courante, surtout dans les pays en développement, en raison du manque d'infrastructures, de capacités techniques et institutionnelles, et de financement.

## Les eaux usées, l'assainissement, la santé humaine et l'agenda de développement durable

L'accès à des services d'assainissement améliorés peut considérablement contribuer à la réduction des risques pour la santé. Il est possible d'obtenir de bénéfices

supplémentaires en matière de santé grâce au traitement amélioré des eaux usées. Si 2,1 milliards de personnes ont obtenu un accès à des installations d'assainissement améliorées depuis 1990, 2,4 milliards n'y ont pas encore accès, et presque 1 milliard de personnes dans le monde pratiquent encore la défécation en plein air.

Cependant, une amélioration de la couverture de l'assainissement ne correspond pas nécessairement à une amélioration de la gestion de l'eau, ou de la sécurité publique. Seuls 26% des services d'assainissement et des eaux usées en milieu urbain, et 34% en milieu rural, empêchent effectivement le contact humain avec des déjections tout au long de la chaîne d'assainissement, et peuvent donc être considérés comme gérés en toute sécurité.

Sur la base de l'expérience des OMD, l'*Agenda 2030 pour le développement durable* a un objectif plus global pour l'eau, qui dépasse les questions de l'approvisionnement en eau et l'assainissement. La cible 6.3 des ODD déclare : *D'ici à 2030, améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant considérablement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau*. Le niveau extrêmement bas du traitement des eaux usées dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire inférieur indique qu'il est urgent de mettre en œuvre des solutions à bas coût et des alternatives de réutilisation de l'eau en toute sécurité, afin de soutenir la réalisation de la cible 6.3, qui est cruciale pour réussir à réaliser l'intégralité de l'Agenda. Les efforts nécessaires pour atteindre cette Cible feront peser une charge financière plus lourde sur les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire inférieur, ce qui les défavorisera d'un point de vue économique par rapport aux pays à revenu élevé et à revenu intermédiaire supérieur.

## Défis en matière de gouvernance

Les avantages de la gestion des déchets humains pour la société sont considérables, en matière de santé publique ainsi que pour l'environnement. Pour chaque dollar américain dépensé en assainissement, le retour estimé pour la société est de 5,5 dollars américains.

Arriver à dépasser les difficultés pratiques de la mise en œuvre des réglementations en matière de qualité de l'eau peut être particulièrement compliqué. Dans l'optique de réaliser les objectifs d'amélioration de la qualité de l'eau et de protection des ressources hydriques, les personnes et les organisations chargées des différents aspects de la gestion des eaux usées doivent se conformer et agir dans l'intérêt collectif. Les avantages ne sont obtenus que lorsque tout le monde respecte les règles pour protéger les ressources hydriques de la pollution.

L'implication des citoyens dans la prise de décisions, à tous les niveaux, encourage l'engagement et la propriété. Ceci comprend les décisions quant à savoir quels types de réseaux d'assainissement sont souhaitables et acceptables, et la façon dont ils peuvent être financés et entretenus en toute sécurité à long terme. Il est particulièrement important de parvenir à atteindre les groupes marginalisés, les minorités ethniques et les personnes vivant dans des conditions de pauvreté extrême, dans des zones rurales reculées ou dans des établissements humains informels ; il est également essentiel de s'engager auprès des femmes, car elles pâtissent des conséquences sanitaires résultant de la mauvaise gestion des déchets humains.

## Aspects techniques du cycle de gestion de l'eau

Les eaux usées sont composées d'environ 99% d'eau et 1% de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes.

Les conséquences de l'émission d'eaux usées non traitées ou mal traitées peuvent être classées en trois catégories : i) effets nocifs pour la santé humaine ; ii) impact négatif sur l'environnement ; et iii) répercussions néfastes sur les activités économiques.

Le contrôle et la réglementation des différents flux d'eaux usées est l'objectif ultime de la gestion des eaux usées. Le cycle de gestion peut être divisé en quatre phases :

### 1. Prévention ou réduction de la pollution à la source

Les approches du contrôle de la pollution hydrique qui mettent l'accent sur la prévention et la réduction des eaux usées devraient être prioritaires sur le traitement traditionnel en fin de canalisation chaque fois que c'est possible. On trouve parmi elles l'interdiction ou le contrôle de l'utilisation de certains contaminants afin d'éliminer ou de limiter leur entrée dans les eaux usées par des moyens réglementaires, techniques et/ou autres. Les mesures correctives pour nettoyer les sites et les étendues d'eau sont en général beaucoup plus chères que les mesures visant à empêcher la pollution de se produire.

Le contrôle et la notification des rejets polluants dans l'environnement et de la qualité de l'eau environnementale sont nécessaires pour obtenir des avancées. Si un phénomène n'est pas mesuré, le problème ne peut pas être défini et l'efficacité des politiques ne peut pas être évaluée.

### 2. La collecte et le traitement des eaux usées

L'élimination centralisée des déchets en suspension dans l'eau demeure la méthode principale pour l'assainissement et l'évacuation des eaux usées provenant des sources domestiques, commerciales et industrielles. Dans le monde, environ 60% des personnes sont connectées à un réseau d'égouts (bien que seule une petite partie des eaux usées collectées ne soit réellement traitée). D'autres alternatives

d'assainissement, telles que les systèmes autonomes (sur le site), sont adaptées aux zones rurales et ayant une faible densité de population, mais elles peuvent être coûteuses et difficiles à gérer dans des milieux urbains denses.

Il est possible que les systèmes centralisés de traitement des eaux usées à grande échelle ne soient plus l'option la plus viable pour la gestion des eaux urbaines dans de nombreux pays. Les systèmes décentralisés de traitement des eaux usées, qui servent des individus ou de petits groupes de propriétés, ont démontré être une tendance montante dans le monde. Ils permettent également de récupérer des nutriments et de l'énergie, de faire des économies d'eau douce, et de contribuer à rendre sûr l'accès à l'eau dans des périodes de pénurie. Selon les estimations, les investissements de ces installations de traitement ne coûtent que 20–50% de ceux des usines de traitement conventionnelles, et leurs coûts d'exploitation et de maintenance sont même inférieurs (de l'ordre de 5 à 25% des stations d'épuration conventionnelles à boues activées).

Les réseaux d'égouts à bas coût sont devenus une méthode de choix pour les quartiers de tous niveaux de revenus. Ils sont différents de ceux utilisés dans la conception des égouts conventionnels, et mettent l'accent sur l'idée selon laquelle les eaux usées exemptes de particules solides sont transportées dans le système. Ces réseaux se prêtent à la gestion communautaire et sont tout à fait adaptés à l'agrandissement et l'expansion de réseaux existants, ou au raccordement de communautés satellites à des réseaux centralisés. Ils ont également été utilisés dans des camps de réfugiés. Un inconvénient qu'ils présentent est qu'ils ne sont pas adaptés au drainage des eaux pluviales.

Les écosystèmes peuvent être efficaces pour offrir des services de traitement des eaux usées économiques, à condition que ces écosystèmes soient sains, que la charge de polluants (et les types de contaminants) dans l'effluent soit réglementée, et que la capacité à supporter la pollution de l'écosystème ne soit pas dépassée.

### 3. L'utilisation des eaux usées en tant que source d'eau alternative

L'utilisation d'eaux usées non traitées ou diluées pour l'irrigation existe depuis des siècles. Les eaux recyclées offrent également des opportunités d'approvisionnement en eau fiable et durable pour les industries et les municipalités, notamment avec un nombre croissant de villes qui dépendent de sources d'eau plus distantes et/ou alternatives pour satisfaire une demande grandissante.

En règle générale, la réutilisation de l'eau devient plus faisable du point de vue économique si le point de réutilisation est proche du point de production. Lorsque les eaux usées sont traitées selon une norme de qualité de l'eau acceptable par l'utilisateur (c.-à-d. avec un traitement adapté à l'objectif poursuivi) le potentiel d'amortissement des coûts augmente. L'utilisation des eaux usées devient encore plus compétitive lorsque les prix de l'eau douce



reflètent également le coût d'opportunité de l'utilisation de l'eau douce, et lorsque les redevances de pollution reflètent le coût de l'élimination des polluants des flux d'eaux usées.

L'utilisation planifiée des eaux usées traitées et partiellement traitées pour les services d'écosystèmes peut améliorer l'efficacité de la ressource et fournir des avantages aux écosystèmes en réduisant les prélèvements d'eau douce, en recyclant et réutilisant des nutriments, en permettant aux pêches et autres écosystèmes aquatiques de prospérer grâce à la réduction de la pollution hydrique, et en rechargeant les aquifères épuisés.

#### 4. La récupération de sous-produits utiles

Le vaste potentiel des eaux usées en tant que source de ressources, telles que l'énergie et les nutriments, demeure sous-exploité.

L'énergie peut être récupérée sous la forme de biogaz, de production de chauffage/refroidissement et d'électricité. Il existe des technologies pour la récupération d'énergie in situ, à travers des processus de traitement des boues/biosolides intégrés dans les usines de traitement des eaux usées, leur permettant, en tant que grands consommateurs d'énergie, d'effectuer une transition vers la neutralité énergétique, voire même de devenir des producteurs nets d'énergie. La récupération énergétique peut également aider les sites à réduire leurs coûts d'exploitation et leur empreinte carbone, et leur permettre d'augmenter leurs revenus grâce aux programmes de crédits-carbone et du marché du carbone. Il y a également des opportunités pour la récupération combinée d'énergie et de nutriments. La récupération d'énergie hors-site implique l'incinération de boues dans des usines centralisées par le biais de processus de traitement thermal.

Le développement de technologies pour la récupération d'azote et de phosphore à partir des eaux usées ou des boues d'épuration avance. La récupération de phosphore grâce à des installations de traitement in situ, telles que les fosses septiques et les latrines, peut être faisable du point de vue technique et financier en transformant les boues des fosses septiques en engrais organique ou organo-minéral. En outre, les boues fécales présentent un risque relativement moindre de contamination chimique par rapport aux biosolides des eaux usées.

Il est probable que la collecte des urines et leur utilisation deviennent un élément de plus en plus important de la gestion des eaux usées écologiques, étant donné qu'elles contiennent 88% de l'azote et 66% du phosphore que l'on trouve dans les déchets humains, composants clé pour la croissance végétale. La raréfaction, ou voire même l'épuisement, des ressources en phosphore minéral d'extraction étant prévue au cours des prochaines décennies, leur récupération à partir des eaux usées offre une alternative réaliste et viable.

## Eaux usées municipales et urbaines

La composition des eaux usées municipales peut être très variable, et reflète la gamme des contaminants émis par les différentes sources domestiques, industrielles, commerciales et institutionnelles. Les eaux usées provenant des sources domestiques sont habituellement relativement exemptes de substances dangereuses, mais il y a des préoccupations grandissantes quant aux polluants émergents tels que les médicaments d'utilisation courante qui, même à des concentrations basses, peuvent avoir des impacts à long-terme.

L'accélération de la croissance urbaine pose de nombreux défis, et notamment l'augmentation spectaculaire de la production d'eaux usées municipales. Cependant, cette croissance est également porteuse d'opportunités pour s'affranchir des pratiques (inadéquates) de gestion de l'eau du passé et adopter des approches innovantes, telles que l'utilisation d'eaux usées traitées et de sous-produits.

La production d'eaux usées est l'un des plus grands défis associés à la croissance des établissements humains informels (bidonvilles) dans le monde en développement. Il y avait plus d'habitants dans les bidonvilles en 2012 qu'en 2000, une tendance qui selon toute probabilité va se poursuivre à l'avenir. Les habitants des bidonvilles doivent souvent dépendre de toilettes communes non connectées à un égout, utiliser des espaces ouverts, ou se débarrasser des fèces dans des sacs en polythène (c.-à-d. des toilettes volantes). Les toilettes communes ne sont pas fréquemment utilisées en raison du manque d'eau, de la maintenance déficiente, et du coût pour l'utilisateur. Trouver un endroit adapté pour aller aux toilettes est particulièrement problématique pour les femmes, et présente des risques liés à la sécurité personnelle, à l'embarras causé, et à l'hygiène.

## Industrie

La toxicité, la mobilité et la charge des polluants industriels ont un impact potentiellement plus significatif sur les ressources hydriques, la santé humaine et l'environnement que les volumes d'eaux usées réels. La première étape consiste à maintenir les volumes et la toxicité de la pollution au minimum au point d'origine, de l'idée à la conception et dans l'exploitation et la maintenance. Ceci implique des remplacements avec des matières premières plus respectueuses de l'environnement, et des produits chimiques biodégradables, ainsi que l'éducation et la formation du personnel pour faire face aux questions liées à la pollution. La deuxième étape consiste à recycler autant d'eau que possible dans une usine, réduisant donc au minimum les rejets.

Les petites et moyennes entreprises (PME) et les industries informelles rejettent souvent leurs eaux usées dans les réseaux municipaux, ou bien directement dans l'environnement. Les industries effectuant des rejets dans

les réseaux municipaux ou les eaux de surface doivent respecter les réglementations sur les rejets pour éviter les amendes, donc dans de nombreux cas, le traitement en fin de canalisation est requis dans l'usine avant l'émission. Dans certaines situations, cependant, les industries peuvent estimer qu'il est plus intéressant économiquement de payer des amendes que d'investir dans le traitement pour respecter les réglementations.

Une opportunité notable pour l'utilisation et le recyclage des eaux usées industrielles réside dans la coopération entre usines, grâce à la symbiose industrielle. On peut en voir un exemple dans les parcs éco-industriels qui placent les industries les unes à côté des autres, de façon à tirer parti de différents flux d'eaux usées et du recyclage de l'eau et des produits dérivés. Pour les PME, ceci peut être une façon significative de faire des économies sur les coûts de traitement des eaux usées.

## Agriculture

Au cours des cinquante dernières années, les surfaces irriguées ont plus que doublé, le cheptel total a plus que triplé, et l'aquaculture en eaux intérieures a été multipliée plus de vingt fois.

La pollution hydrique en provenance de l'agriculture se produit quand les engrais (nutriments) et autres produits agrochimiques sont appliqués de façon plus abondante que ce que les cultures peuvent absorber, ou quand ils sont emportés par la pluie. Des systèmes d'irrigation efficaces peuvent considérablement réduire les pertes d'eau et d'engrais. Les nutriments peuvent également être émis par la production de bétail et l'aquaculture.

L'agriculture peut être une source de nombreux autres types de polluants, et notamment la matière organique, les agents pathogènes, les métaux et des contaminants émergents. Au cours des 20 dernières années, de nouveaux polluants agricoles sont apparus, tels que les antibiotiques, les vaccins, les facteurs de croissance et les hormones, qui peuvent être émis par les élevages et les exploitations d'aquaculture.

Si elles sont traitées de façon adéquate et appliquées en toute sécurité, les eaux usées domestiques sont une source précieuse d'eau et de nutriments. En plus d'améliorer la sécurité alimentaire, la réutilisation de l'eau pour l'agriculture peut apporter des bénéfices considérables à la santé humaine et animale, et notamment une nutrition améliorée. L'utilisation des eaux usées municipales est un modèle courant dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, en Australie, et en Méditerranée, ainsi qu'en Chine, au Mexique et aux États-Unis. La pratique a connu un franc succès dans les zones urbaines et périurbaines, où les eaux usées sont facilement disponibles, gratuites en général, et où il existe à proximité un marché pour les produits agricoles.

## Perspectives régionales

L'un des principaux défis liés aux eaux usées en Afrique réside dans le manque général d'infrastructures pour la collecte et le traitement, qui entraîne la pollution de ressources d'eaux de surface et souterraines souvent limitées. Les villes africaines connaissent une rapide expansion, et leurs systèmes actuels de gestion des eaux ne sont pas en mesure de faire face aux besoins croissants. Mais cette situation offre des opportunités à travers la gestion améliorée des eaux usées urbaines, grâce au recours à des technologies polyvalentes pour la réutilisation de l'eau et la récupération de sous-produits utiles. Un plaidoyer fort est nécessaire afin de convaincre les décideurs politiques du « coût phénoménal de l'inaction » en termes de développement socio-économique, de qualité environnementale et de santé humaine.

L'utilisation d'eaux usées traitées en toute sécurité est devenue un moyen d'augmenter la disponibilité de l'eau dans de nombreux états arabes, et a été incorporée, en tant qu'élément clé, dans les plans de gestion des ressources hydriques. En 2013, 71 % des eaux usées collectées dans les états arabes était traitées en toute sécurité, et 21 % de ce volume était principalement utilisé pour l'irrigation et la recharge des eaux souterraines. La gestion intégrée des ressources hydriques et les approches du lien qui prennent en considération les relations entre l'eau, l'énergie, l'alimentation, et le changement climatique forment un cadre de réflexion et des pistes pour encourager la collecte, le transfert, le traitement et l'utilisation améliorés des eaux usées dans la région arabe, du point de vue de la sécurité de l'eau.

Les sous-produits des eaux usées domestiques, tels que le sel, l'azote et le phosphore, ont une valeur économique potentielle qui peut être utilisée pour améliorer les moyens de subsistance dans la région Asie-Pacifique. Des études de cas en Asie du Sud-Est ont démontré que les revenus des produits dérivés des eaux usées, tels que les engrais, sont significativement supérieurs aux coûts d'exploitation des systèmes de collecte des produits dérivés des eaux usées, apportant ainsi la preuve que la récupération de ressources à partir des eaux usées est un modèle économique viable et qui engrange des bénéfices. Il faut en faire plus, dans toute la région, afin de soutenir les gouvernements locaux et municipaux dans la gestion des eaux usées urbaines et la récupération des bénéfices de la ressource.

Le niveau d'accès à l'assainissement amélioré en Europe et en Amérique du Nord est relativement élevé (95 %), et les niveaux de traitement des eaux usées se sont également améliorés au cours des 15 à 20 dernières années. Bien que le traitement tertiaire se soit progressivement accru, des quantités significatives d'eaux usées sont encore collectées et rejetées sans traitement, surtout en Europe de l'Est. Les mutations démographiques et économiques ont miné l'efficacité de certains des plus grands systèmes centralisés, comme en témoignent de nombreux systèmes trop grands et inadaptés de certaines zones de l'ex-Union soviétique.

Les villes de toute la région doivent faire face au fardeau financier associé à la réparation ou à la substitution d'infrastructures vieillissantes.

La couverture du traitement des eaux usées en Amérique latine et dans les Caraïbes a quasiment doublé depuis la fin des années 1990, et selon les estimations, elle devrait avoir atteint à présent entre 20% et 30% des eaux usées collectées dans les réseaux d'eaux usées urbains. Cette amélioration est principalement attribuée à l'augmentation des niveaux de couverture en eau et assainissement, à l'amélioration de la situation financière de nombreux fournisseurs de service (qui ces dernières années ont accompli de nombreuses avancées vers la récupération des coûts), et de la forte croissance socio-économique connue par la région au cours des dix dernières années. Un autre facteur qui a participé à cette amélioration est l'intégration des économies de la région dans les marchés mondiaux. Les eaux usées traitées pourraient être une source importante d'approvisionnement en eau dans certaines villes, notamment celles situées dans les zones arides (p. ex. Lima), ou dans lesquelles des transferts à longue distance sont nécessaires pour satisfaire la demande croissante, surtout en période de sécheresse (p. ex. São Paulo).

## Créer un environnement favorable au changement

Le traitement amélioré des eaux usées, l'augmentation de la réutilisation de l'eau, et la récupération de produits dérivés utiles favorisent la transition vers une économie circulaire, en contribuant à la réduction des prélèvements d'eau et à la perte de ressources dans les systèmes de production et les activités économiques.

### Cadres réglementaires et légaux adaptés

Un cadre réglementaire efficace exige que l'autorité de mise en œuvre ait la capacité technique et de gestion, et agisse de façon indépendante, avec des pouvoirs suffisants pour faire appliquer les règles et les lignes directrices. La transparence et l'accès à l'information encouragent le respect, en favorisant la confiance entre les utilisateurs quant aux processus de mise en œuvre et d'application. Pour accomplir des progrès, une approche souple et progressive sera nécessaire.

Les instruments politiques et réglementaires sont mis en œuvre au niveau local, et doivent être adaptés aux différentes circonstances. Il est donc important qu'un soutien politique, institutionnel et financier soit accordé aux initiatives ascendantes, et à la fourniture locale (c.-à-d. décentralisée) de services de gestion des eaux usées à petite échelle.

Il est également nécessaire d'avoir de nouvelles réglementations concernant la réutilisation de l'eau et la récupération des sous-produits des eaux usées. La

législation sur les normes de qualité pour ces produits est souvent rare ou inexistante, ce qui crée des incertitudes sur le marché qui peuvent décourager les investissements. Les marchés pour ces produits pourraient être encouragés par des mesures d'incitation financière ou légale (p. ex. le mélange obligatoire de phosphates récupérés dans les engrais artificiels).

### L'amortissement des coûts et les mécanismes de financement appropriés

La gestion des eaux usées et l'assainissement sont généralement considérés comme étant coûteux et exigeant beaucoup de capital. Ceci est particulièrement vrai pour les grands réseaux centralisés, qui nécessitent de lourds investissements initiaux et des coûts d'exploitation et de maintenance relativement élevés à moyen et long terme, pour éviter une détérioration rapide. Le problème est accentué par un manque chronique d'investissements pour le développement de capacités institutionnelles et humaines. Cependant, le coût des investissements inadéquats dans la gestion des eaux usées est beaucoup plus élevé, surtout si on prend en considération les dommages directs et indirects à la santé, au développement socio-économique et à l'environnement.

Les réseaux décentralisés de traitement des eaux usées peuvent être utilisés pour compenser certains problèmes financiers engendrés par les réseaux centralisés. Ces technologies à bas coût, quand elles sont bien conçues et appliquées, peuvent donner des résultats satisfaisants en termes de qualité d'effluents, bien qu'elles exigent un niveau approprié d'exploitation et de maintenance afin d'éviter une défaillance du système.

L'utilisation des eaux usées peut ajouter de nouveaux revenus au traitement des eaux usées, notamment dans des conditions de manque d'eau récurrent ou chronique. De nombreux modèles économiques différents ont été mis en place, dans lesquels les coûts et la valeur récupérés offrent un avantage considérable du point de vue financier. Cependant, les revenus provenant de la vente d'eaux usées traitées ne suffisent pas, en général, à couvrir les coûts d'exploitation et de maintenance de l'usine de traitement de l'eau. La récupération des nutriments (principalement phosphore et azote) et d'énergie peut représenter une nouvelle valeur ajoutée significative pour améliorer la proposition d'amortissement de coûts.

Bien que les revenus de l'utilisation des eaux usées et de la récupération de ressources puissent ne pas toujours couvrir les coûts supplémentaires, les bénéfices provenant des investissements dans la réutilisation de l'eau peuvent tout à fait être comparés avec le coût des barrages, du dessalement, des transferts entre bassins, et d'autres alternatives pour augmenter la disponibilité de l'eau.

Même lorsqu'elle est amenée jusqu'au robinet, l'eau potable demeure, en général, sous-estimée et sous-tarifée si on la compare au coût total du service. Les eaux usées

traitées doivent, quant à elles, avoir un prix plus bas que l'eau potable afin d'être acceptée par les citoyens. Établir un prix pour l'eau, toutes sources confondues, afin de mieux refléter ses coûts réels, favorise les investissements qui peuvent se traduire par une fourniture de service abordable pour tous les membres de la société, y compris les plus pauvres.

### **Réduire au minimum les risques pour les personnes et l'environnement**

Les rejets d'eaux usées non traitées peuvent avoir de graves effets sur la santé humaine et l'environnement, et notamment des épidémies de maladies vectorielles transmises par l'alimentation et l'eau, ainsi que la pollution et la perte de diversité biologique et des services des écosystèmes. L'exposition de groupes vulnérables, notamment les femmes et les enfants, à des eaux usées partiellement traitées ou non traitées, exige une attention particulière. Une connaissance limitée des risques pour la santé associés à l'utilisation d'eaux usées, en raison de la pauvreté et d'une éducation déficiente, contribue à accentuer ces risques, notamment dans les pays en développement. À chaque fois que l'exposition humaine est considérée comme étant probable (p. ex. par l'alimentation ou par contact direct), des mesures de gestion des risques plus strictes doivent être prises.

### **Le renforcement des connaissances et des capacités**

Les données et les informations sur la production, le traitement et l'utilisation des eaux usées sont essentielles pour les décideurs politiques, les chercheurs, les praticiens et les institutions publiques, afin de mettre au point des plans d'action nationaux et locaux pour la protection de l'environnement et l'utilisation sûre et productive des eaux usées. Les connaissances concernant les volumes et, ce qui est peut-être encore plus important, les composants des eaux usées sont des outils nécessaires pour la protection de la santé humaine et la sécurité de l'environnement. Cependant, il y a un manque généralisé de données concernant quasiment tous les aspects de la qualité de l'eau et de la gestion des eaux usées, notamment dans les pays en développement.

Des technologies appropriées et à un coût abordable, tant nouvelles qu'éprouvées, doivent être transférées depuis les pays développés vers les pays en développement afin d'aider ces derniers à réaliser la cible 6.3 des ODD. Des recherches sont nécessaires afin de mieux comprendre la dynamique de l'apparition de polluants, et d'améliorer les méthodes d'élimination de ces polluants des eaux usées. Il est également essentiel de comprendre la façon dont les facteurs externes tels que le changement climatique affecteront la gestion des eaux usées.

Dans l'optique d'améliorer la gestion des eaux usées, il est essentiel de s'assurer que les niveaux appropriés de capacités humaines sont mis en place. On manque souvent de capacités organisationnelles et institutionnelles dans le secteur de la gestion des eaux usées, et par conséquent, tous les investissements, qu'il s'agisse de systèmes centralisés de gestion des eaux usées à grande échelle ou de systèmes plus petits *in situ*, sont en jeu.

### **Sensibilisation du public et acceptation par la société**

Même si les projets concernant l'utilisation des eaux usées sont bien conçus du point de vue technique, semblent réalisables du point de vue financier, et intègrent des mesures de sécurité adéquates, les systèmes de réutilisation de l'eau peuvent échouer si les planificateurs ne prennent pas bien en considération la dynamique de l'acceptation sociale. L'utilisation d'eaux usées se heurte souvent à une forte résistance de l'opinion publique, en raison d'un manque de sensibilisation et de confiance face aux risques pour la santé humaine. La sensibilisation et l'éducation sont les principaux instruments pour dépasser les barrières sociales, culturelles et de consommation. Ces campagnes de sensibilisation doivent être adaptées aux consommateurs venant de milieux culturels et religieux différents.

Les risques pour la santé associés à la réutilisation de l'eau doivent être évalués, gérés, contrôlés et notifiés régulièrement afin d'obtenir l'acceptation du public, et de maximiser les avantages de l'utilisation des eaux usées tout en réduisant au minimum les impacts négatifs. Dans le cas de l'eau potable (p. ex. la réutilisation de l'eau potable), de vastes campagnes d'information sont nécessaires pour construire la confiance dans le système et dépasser la répulsion (le « facteur beurk »).

## **Coda**

Dans un monde où la demande en eau douce augmente sans cesse, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion des eaux usées, dans un contexte d'économie circulaire.



# PROLOGUE

WWAP | Stefan Uhlenbrook, Angela Renata Cordeiro Ortigara et Richard Connor

Avec la contribution de : Sara Marjani Zadeh (FAO)

## ÉTAT DES RESSOURCES EN EAU : DISPONIBILITÉ ET QUALITÉ

Collecte d'eau dans une rivière à Bor (Soudan du Sud)



Le prologue donne un aperçu des deux aspects fondamentaux de l'état des ressources en eau à travers le monde qui sont directement liés aux eaux usées : la disponibilité de l'eau et la qualité de l'eau ambiante. Tandis que les eaux usées convenablement traitées constituent une ressource pouvant être utilisée pour résoudre le problème de pénuries dans l'approvisionnement en eau, le niveau de traitement des eaux usées affecte directement la qualité de l'eau ambiante, avec des implications sur la disponibilité de l'eau. Les déterminants externes des tendances futures en matière de disponibilité et de qualité de l'eau sont décrits, avec un accent particulier sur les dynamiques démographiques et les changements climatiques.

## Production et traitement des eaux usées dans le monde

Il n'existe pas de données sur la génération, la collecte et le traitement des eaux usées, certes, mais il est clair qu'à travers le monde, l'essentiel des eaux usées n'est ni collecté ni traité. En outre, la collecte des eaux usées en elle-même n'est pas synonyme du traitement des eaux usées. Très souvent, les eaux usées collectées sont simplement déchargées directement dans l'environnement sans aucun traitement. Les eaux de ruissellement agricole ne sont presque jamais collectées ou traitées, raison pour laquelle il n'existe pratiquement pas d'indicateurs de mesure relatifs à ces types d'eaux usées.

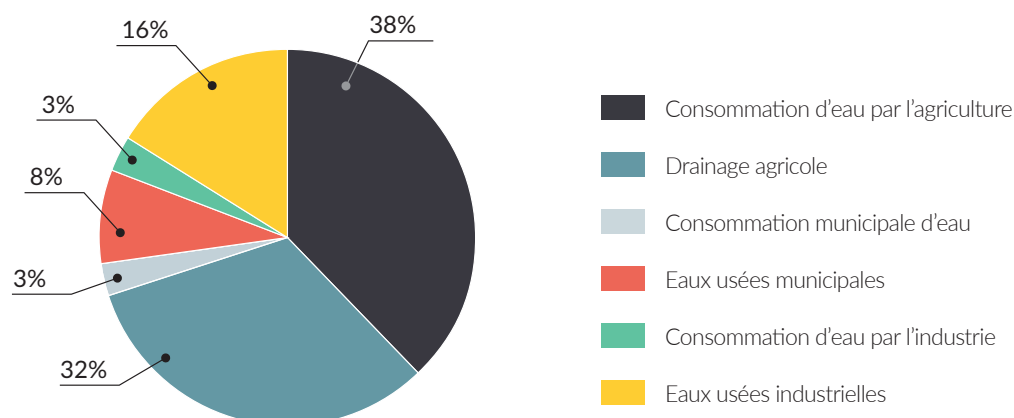
AQUASTAT, la base de données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime à 3 928 km<sup>3</sup> par an les prélèvements d'eau douce. Environ 44 % (1 716 km<sup>3</sup> par an) de cette eau est consommée, principalement dans l'agriculture par évaporation dans les terres agricoles irriguées. Les 56 % restants (2 212 km<sup>3</sup> par an) sont libérés dans l'environnement en tant qu'eaux usées sous forme d'effluents municipaux et industriels et d'eaux de drainage agricole (voir figure 1).

Le traitement des eaux usées industrielles et municipales au niveau d'un pays est généralement le reflet de son niveau de revenu. En moyenne, les pays à revenu élevé traitent environ 70 % des eaux usées qu'ils génèrent, tandis que la proportion tombe à 38 % dans les pays à revenu intermédiaire supérieur et à 28 % dans les pays à revenu intermédiaire inférieur. Dans les pays à faible revenu, seulement 8 % des eaux usées industrielles et municipales font l'objet d'un quelconque traitement (Sato et al., 2013). Cet état de choses complique la situation des pauvres, en particulier dans les bidonvilles, qui sont souvent directement exposés aux eaux usées en raison du manque d'eau et de services d'assainissement.

Ces estimations vont dans le sens de l'approximation souvent citée selon laquelle à l'échelle mondiale, 80 % des eaux usées sont probablement libérées dans l'environnement sans traitement approprié (WWAP, 2012 ; ONU-Eau, 2015a).

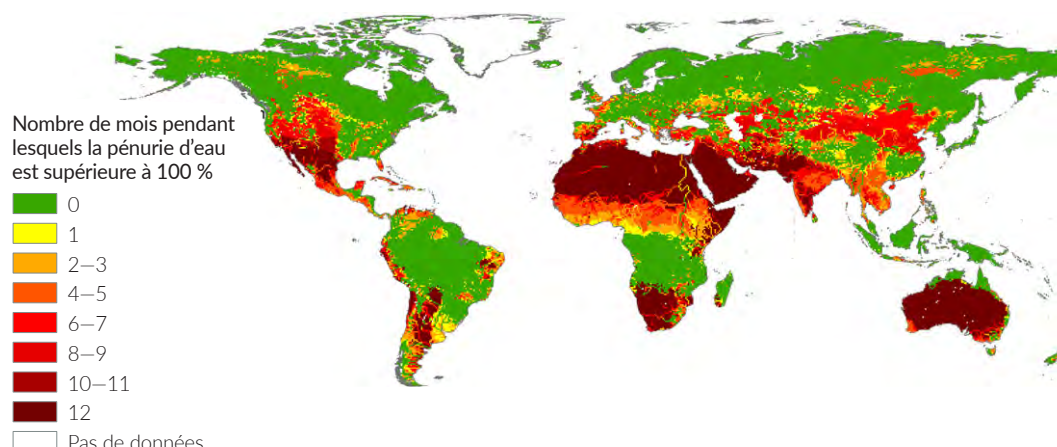
Il semble également y avoir des variations considérables d'une région à l'autre. En Europe, 71 % des eaux usées municipales et industrielles générées sont traitées, tandis que seuls 20 % sont traitées dans les pays d'Amérique latine. Dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique

**Figure 1** Devenir des prélèvements mondiaux d'eau douce : Consommation et production d'eaux usées par les principaux secteurs consommateurs d'eau (vers 2010)



Source : Basé sur des données issues d'AQUASTAT (s.d.a.) ; Mateo-Sagasta et al. (2015) ; et Shiklomanov (1999).  
Contribution de Sara Marjani Zadeh (FAO).

**Figure 2** Nombre de mois par an pendant lesquels le volume des eaux de surface et des eaux souterraines prélevé et n'y retournant pas dépasse une résolution de 1,0 à 30 x 30 arc min (1996–2005)\*



\*Moyenne mensuelle par trimestre des pénuries des ressources en eau bleue à une résolution de 30 x 30 minutes d'arc. La pénurie des ressources en eau au niveau de la cellule du réseau se définit comme le rapport entre l'empreinte de l'eau bleue au sein de la cellule du réseau et la somme des eaux bleues générées au sein de la cellule et les flux d'eaux bleues provenant des cellules amont. Période : 1996–2005.

Source : Mekonnen et Hoekstra (2016, fig. 3, p. 3).

du Nord (MENA), on estime que 51 % des eaux usées municipales et industrielles sont traitées. Dans les pays africains, le manque de ressources financières pour développer des infrastructures de traitement des eaux usées constitue une contrainte majeure pour la gestion des eaux usées, tandis que 32 sur les 48 pays d'Afrique subsaharienne ne disposaient d'aucune donnée sur la production et le traitement des eaux usées (Sato et al., 2013).

Le traitement des eaux usées et leur utilisation ou élimination dans les régions humides des pays à revenu élevé (par exemple Amérique du Nord, Europe du Nord et Japon) sont motivés par des réglementations strictes sur le rejet d'effluents, et la sensibilisation du public à la qualité de l'environnement. La situation est différente dans les pays à revenu élevé des régions les plus sèches (par exemple certaines parties de l'Amérique du Nord, l'Australie, le Moyen-Orient et le sud de l'Europe), dans lesquelles les eaux usées traitées sont souvent utilisées pour l'irrigation, étant donné la concurrence croissante en matière d'utilisation de l'eau entre l'agriculture et d'autres secteurs.

L'expansion constante du réseau d'assainissement, et l'augmentation du volume d'eaux usées qui en résulte, entraînent des pressions sur les installations de traitement existantes et, dans certains cas, peuvent conduire à des performances sous-optimales.

Même lorsque les eaux usées sont collectées et traitées, la qualité finale des eaux usées déchargées peut être affectée par un mauvais fonctionnement et une maintenance inappropriée, ainsi que par des débordements pendant les orages, lorsque les eaux usées dépassent la capacité de l'usine de traitement. Ainsi, une grande partie des eaux usées

n'est pas traitée (ou est insuffisamment traitée) et est déchargée dans les masses d'eau, ce qui affecte par la suite la qualité de l'eau (et sa disponibilité) pour les utilisateurs en aval.

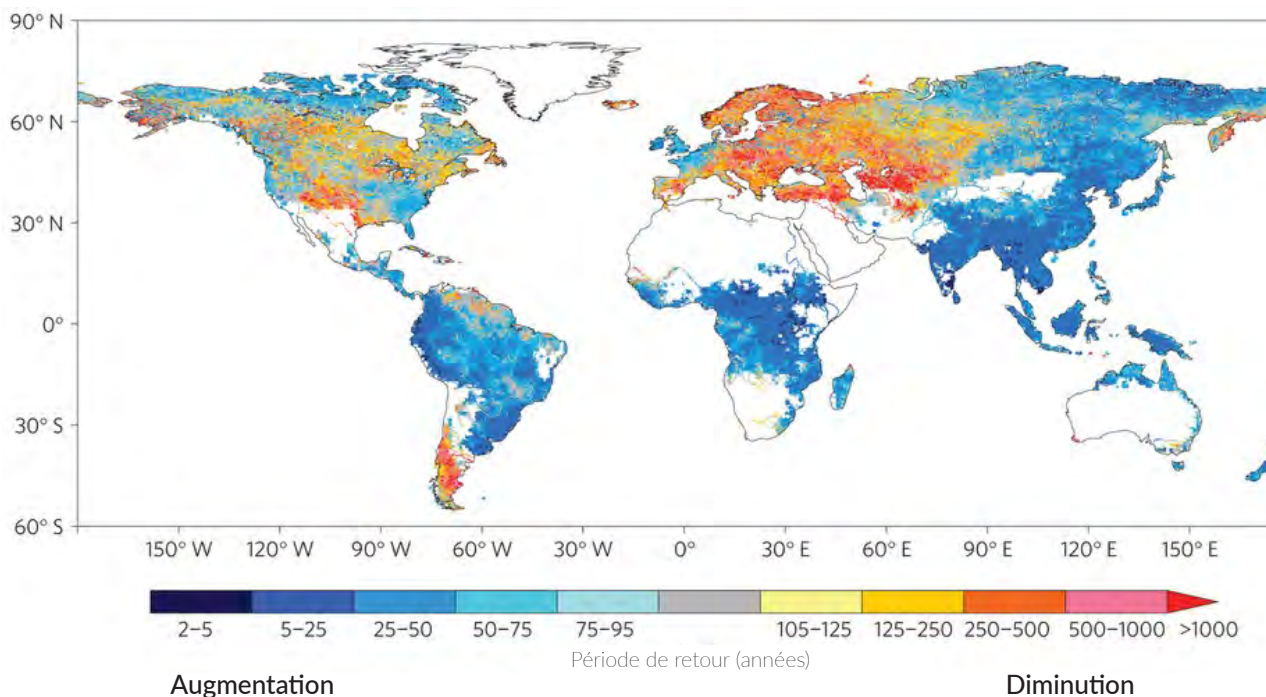
## Disponibilité mondiale des ressources en eau : pénurie croissante chaque année

Les ressources en eau (eaux de surface et eaux souterraines) sont renouvelées à travers le cycle continu d'évaporation, de précipitations et de ruissellement. Le cycle de l'eau est entraîné par les forces globales et climatiques qui causent les variations dans les précipitations et l'évaporation, qui à leur tour définissent les modèles de ruissellement et la disponibilité des ressources en eau dans l'espace et le temps (modulée par le stockage naturel et artificiel). Les observations faites au cours des décennies passées et les projections découlant des scénarios des changements climatiques indiquent une exacerbation des variations spatiales et temporelles des dynamiques du cycle de l'eau (cf. GIEC, 2013). Par conséquent, les écarts dans l'offre et la demande de ressources en eau se creusent davantage.

D'après des recherches récentes, les deux tiers de la population mondiale vit actuellement dans des zones qui souffrent du manque d'eau pendant au moins un mois au cours de l'année (voir figure 2). Il convient de noter qu'environ 50 % des personnes faisant face à ce niveau de pénurie des ressources en eau vivent en Chine et en Inde. Une telle évaluation mensuelle de la pénurie des ressources en eau est essentielle, étant donné que le stress hydrique qui résulte des périodes de sécheresse peut être masqué par les



**Figure 3** Changements prévus dans la fréquence des inondations\*



\*Illustrés comme le changement de la période de récurrence d'une inondation centenaire. Les simulations indiquent la moyenne des résultats de 11 modèles de circulation globale (MCG) dans le cadre du futur scénario RCP8.5, et la différence entre les périodes 2071-2100 et 1971-2000 est comparée.

Source: Hirabayashi et al. (2013, fig. 1a).

Reprinted with permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature Climate Change, © 2013

moyennes annuelles de disponibilité des ressources en eau. Les évaluations par réseau, comme l'indique la figure 2, peuvent être facilement agrégées à l'échelle d'un pays, et permettent de mieux comprendre les variations dans ce pays. Les moyennes peuvent être trompeuses, en particulier dans les pays ayant des variations spatiales sensibles des ressources en eau et de leurs utilisations, tels que, par exemple l'Australie, le Brésil, le Chili, la Russie et les États-Unis.

Environ 500 millions de personnes vivent dans des zones où la consommation d'eau est deux fois plus élevée que les ressources hydriques renouvelables locales (Mekonnen et Hoekstra, 2016). C'est le cas dans certaines régions de l'Inde, de la Chine, la région de la Méditerranée, le Moyen-Orient, l'Asie centrale, les parties arides de l'Afrique subsaharienne, l'Australie, le centre et l'ouest de l'Amérique du Sud, et le centre et l'ouest de l'Amérique du Nord. Les régions où les ressources non renouvelables (telles que les eaux souterraines fossiles, qui ne sont jamais une source durable) continuent de diminuer sont devenues hautement vulnérables et dépendantes des transferts d'eau provenant des régions riches en eau.

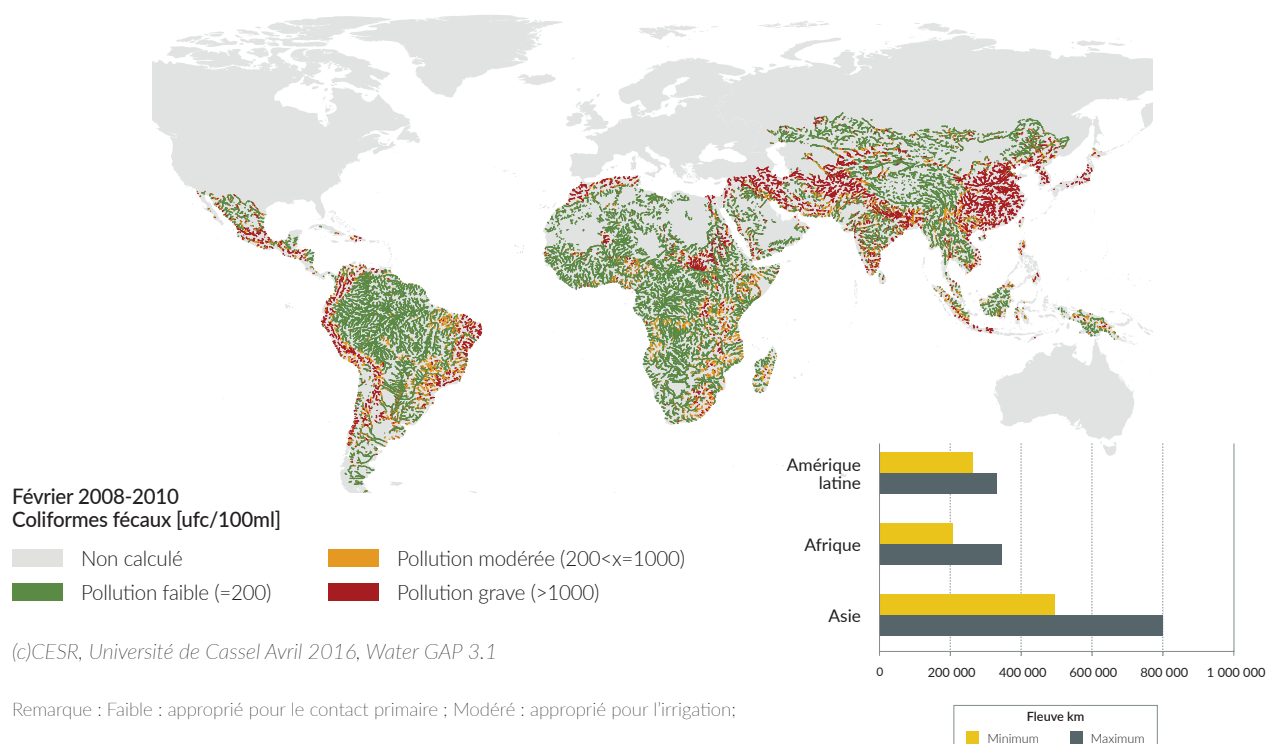
Bien que les inondations et sécheresses soient des phénomènes naturels et fassent partie des dynamiques du cycle de l'eau variables en fonction de l'espace et du temps, la fréquence et la gravité des inondations et sécheresses ont changé dans plusieurs

bassins fluviaux à travers le monde, en raison d'une combinaison des changements climatiques et des activités humaines. Les changements liés à l'utilisation des terres, y compris l'urbanisation, la canalisation des rivières et d'autres activités humaines, modifient la capacité de stockage des bassins hydrographiques et ont un impact sur les débits élevés ainsi que sur la recharge des eaux souterraines et les débits faibles. Les modifications de la capacité de stockage et la génération des ruissellements peuvent accroître la fréquence des catastrophes liées à l'eau. La fréquence des inondations (Hirabayashi et al., 2013) et des sécheresses (GIEC, 2013) est susceptible d'augmenter avec l'élévation des températures. Les résultats d'un ensemble de projections (voir figure 3) indiquent une augmentation considérable de la fréquence des inondations (représentées par les zones bleues, où la fréquence des événements aujourd'hui considérés comme des inondations séculaires augmenterait) dans plusieurs régions, notamment en Inde, en Asie du Sud-Est et centrale et en Afrique de l'Est, tandis que dans d'autres régions la fréquence des inondations devrait diminuer (voir les régions en jaune/rouge).

L'excès (inondations) ou le déficit (sécheresse) de ressources en eau, qui s'accompagne souvent par des eaux trop sales (concentrations polluantes plus élevées aux deux extrêmes), rend l'utilisation des eaux usées encore plus nécessaire.



**Figure 4** Estimation des concentrations de bactéries coliformes fécales (CF) dans les cours d'eau d'Afrique, Amérique latine et Asie (février 2008-2010)\*



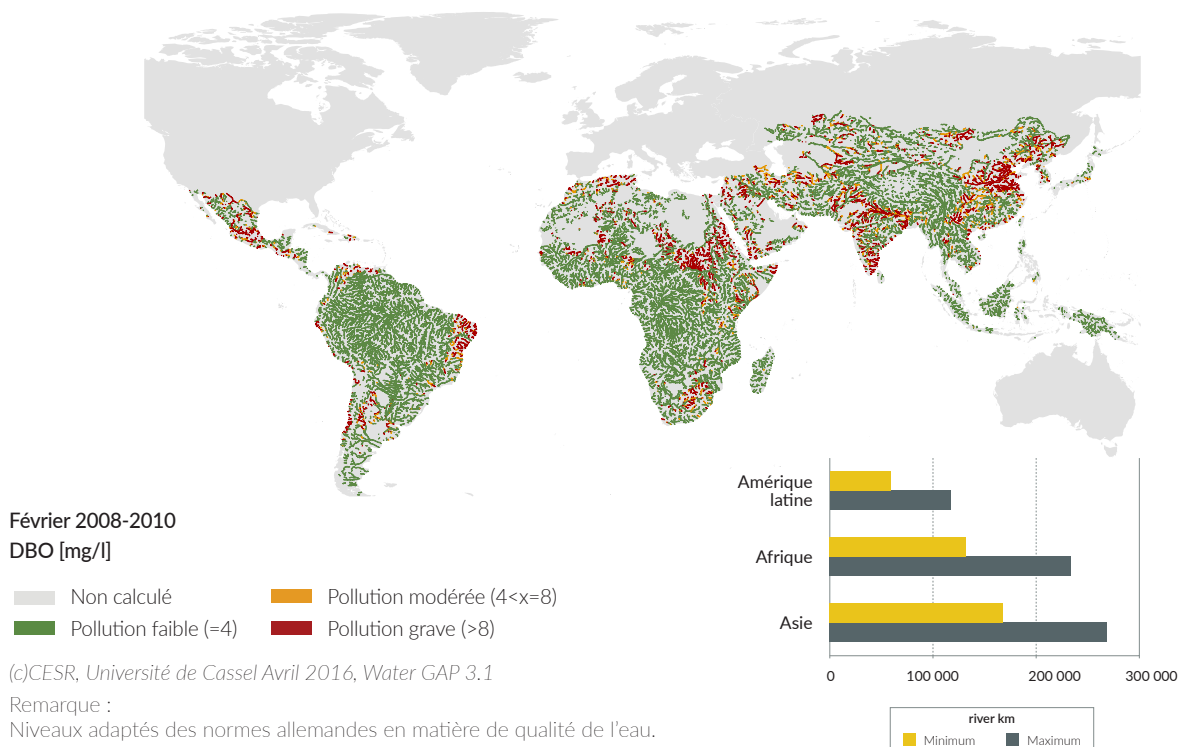
Les coûts économiques générés par les crues des fleuves à travers le monde pourraient se multiplier par vingt d'ici à la fin du vingt-et-unième siècle, si des actions supplémentaires ne sont pas engagées pour la réduction des risques d'inondation. Plus de 70 % de cette augmentation peut être attribuée à la croissance économique dans les zones sujettes à des inondations, en plus des changements climatiques (Winsemius et al., 2016). L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2015a) cite des scénarios climatiques basés sur la modélisation entreprise par Winsemius et Ward (2015), qui indique que les dommages causés par les inondations en zone urbaine pourraient atteindre 700 à 1 800 milliards de dollars américains par an d'ici à 2080.

À l'échelle mondiale, la sécheresse constitue sans doute la plus grande menace découlant des changements climatiques. Mais au niveau local, l'augmentation du niveau de la mer (affectant les zones côtières) ou d'autres menaces pourraient être plus importantes (par exemple les zones qui sont extrêmement vulnérables aux inondations ou glissements de terrain). Les conséquences de la sécheresse peuvent être très importantes d'un point de vue socioéconomique et environnemental. Ses répercussions vont d'une faible productivité agricole accompagnée de perturbations du fonctionnement de l'écosystème, à l'augmentation des prix des aliments,

tandis que l'insécurité et la famine peuvent déclencher des déplacements massifs de populations. La crise en Syrie a été déclenchée, entre autres facteurs, par une sécheresse historique entre 2007 et 2010, période qui a connu très peu de précipitations hivernales (en partie à cause des changements climatiques), et qui a rendu l'agriculture impossible sur environ 60 % des terres agricoles, en dépit des connaissances et des technologies qui étaient disponibles. Cette situation a affecté les moyens de subsistance de milliers d'agriculteurs, entraînant un exode rural accompagné d'une plus grande dépendance vis-à-vis des importations de denrées alimentaires, l'augmentation des prix des denrées alimentaires, des établissements humains informels, du chômage et des troubles sociaux. Par conséquent, suite à la guerre civile et à d'autres raisons, un mouvement de migration à grande échelle a eu lieu (Kelley et al., 2015). Parmi les mesures visant à accroître la résilience à la sécheresse figure l'acceptation des eaux usées en tant que source d'eau fiable pour l'agriculture et de nombreuses autres utilisations.

La demande mondiale des ressources en eau devrait augmenter sensiblement au cours des prochaines décennies. En plus des besoins du secteur agricole, qui est actuellement responsable de 70 % des prélèvements d'eau à travers le monde, on prévoit d'importantes augmentations pour le secteur

**Figure 5** Estimation des concentrations de la demande biologique d'oxygène (DBO) dans les cours d'eau d'Afrique, Amérique latine et Asie (février 2008-2010)\*



\* Les diagrammes montrent les estimations mensuelles minimales et maximales pour les cours d'eau de la catégorie « pollution grave » par continent au cours de la période de 2008 à 2010.

Source : PNUE (2016, fig. 3.13, p. 33).

industriel et la production d'énergie (WWAP, 2015). Le changement des modes de consommation, notamment le passage à une alimentation constituée d'aliments riches en eau tels que la viande (par exemple, 15 000 litres d'eau sont nécessaires pour produire un kilogramme de bœuf) aggravera la situation. Il n'est donc pas surprenant que le Forum économique mondial ait par la suite évalué la crise de l'eau comme étant l'un des principaux risques mondiaux de ces cinq dernières années. En 2016, la crise de l'eau a été identifiée comme étant le risque le plus préoccupant de la planète pour les personnes et les économies au cours des dix prochaines années (WEF, 2016).

## Qualité de l'eau ambiante<sup>1</sup>

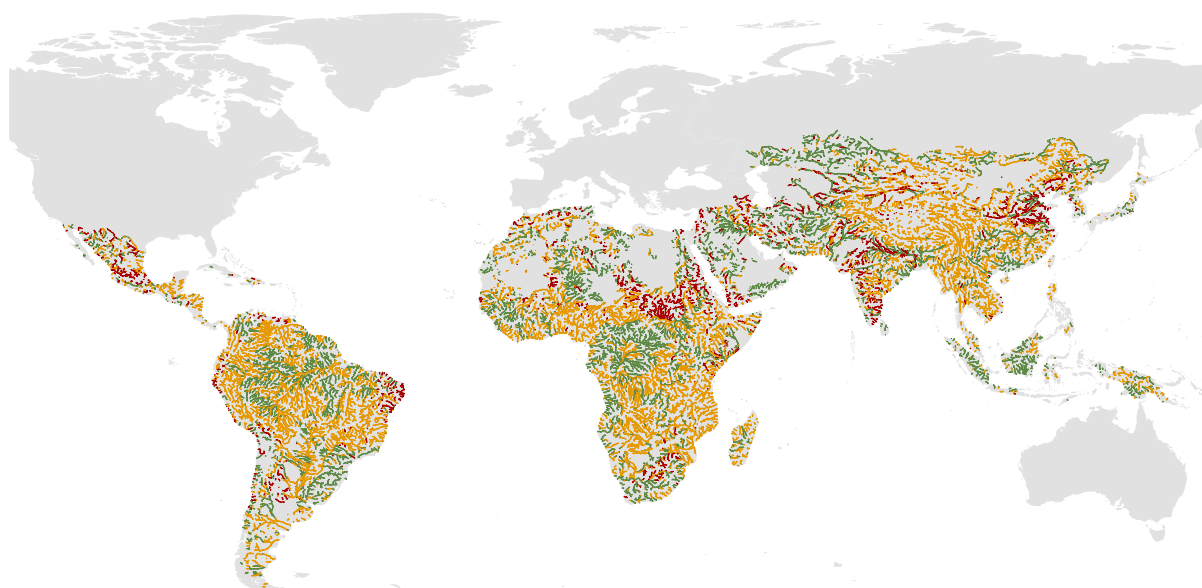
La disponibilité des ressources en eau est intrinsèquement liée à la qualité de l'eau. La pollution des eaux de surface et des eaux souterraines peut entraver leurs différents usages en l'absence d'un prétraitement coûteux. La détérioration de la qualité de l'eau devrait s'accroître au cours des prochaines

décennies, surtout dans les pays pauvres en ressources des régions sèches, ce qui mettrait en péril la santé humaine et l'environnement, tout en freinant le développement économique durable (Veolia/IFPRI, 2015). Le rejet d'eaux usées non traitées provenant de l'expansion des établissements humains et d'une production industrielle accrue génère une pollution physique, chimique et biologique, qui influe tant sur la santé humaine que sur l'environnement.

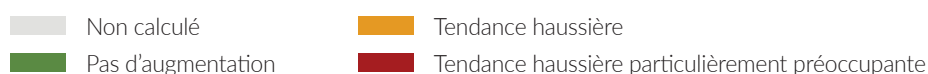
La présence de coliformes fécaux, qui proviennent d'excréments humains et animaux, est considérée comme indicatrice de la présence de tous les agents pathogènes potentiels dans les eaux de surface. Les premières conclusions du programme mondial de surveillance de la qualité de l'eau montrent qu'une pollution grave par des agents pathogènes affecte environ un tiers de tous les cours d'eau en Amérique latine (voir figure 4), ce qui met en péril la santé de millions de personnes (PNUE, 2016). Certes, la couverture sanitaire a augmenté et les niveaux de traitement se sont améliorés dans certains pays (UNICEF/OMS, 2015), mais ces améliorations doivent se produire simultanément afin d'éviter d'augmenter les charges de contaminants. Cela pourrait sans doute expliquer l'augmentation des charges de coliformes fécaux observée en Amérique latine, en Afrique et en Asie au cours des deux dernières décennies.

<sup>1</sup> Cette section s'appuie en grande partie sur le rapport instantané (PNUE, 2016), qui donne un aperçu complet de la qualité actuelle de l'eau.

**Figure 6** Tendence des concentrations de la demande biologique d'oxygène (DBO) dans les fleuves entre 1990 et 1992 puis entre 2008 et 2010\*



Tendance des concentrations de DBO dans les cours d'eau



(c)CESR, Université de Cassel Avril 2016, Water GAP 3.1

\* Les tronçons fluviaux marqués en orange ou rouge ont des concentrations croissantes entre ces deux périodes. Les tronçons fluviaux marqués en rouge ont une « tendance croissante particulièrement préoccupante », ce qui signifie que dans ces tronçons, le niveau de pollution est passé à la catégorie de pollution grave entre 2008 et 2010, ou qu'ils se trouvaient déjà dans la catégorie de pollution grave entre 1990 et 1992 et que leur concentration a encore augmenté entre 2008 et 2010.

Source : PNUE (2016, fig. 3.15, p. 34).

**Dans le monde,  
80 % des eaux usées sont  
probablement libérées dans  
l'environnement sans  
traitement approprié**

La pollution organique (mesurée en termes de demande biochimique en oxygène ou DBO) peut avoir un impact important sur la pêche en eaux intérieures, la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance, affectant gravement les communautés rurales défavorisées qui vivent de la pêche en eau douce. Environ un septième de tous les cours d'eau d'Afrique, Asie et Amérique latine sont déjà affectés par une pollution organique grave (voir figure 5), qui n'a cessé d'augmenter depuis des années (voir figure 6) (PNUE, 2016).

La libération de nutriments (azote, phosphore et potassium) et de produits agrochimiques issus de l'agriculture intensive et des déchets d'origine animale peut accélérer l'eutrophisation des ressources en eau douce et des écosystèmes marins côtiers et augmenter la pollution des eaux souterraines. La plupart des grands lacs d'Amérique latine et d'Afrique ont enregistré des charges anthropiques de phosphore en augmentation, ce qui peut accélérer les processus d'eutrophisation.

L'augmentation des rejets d'eaux usées n'ayant pas subi un traitement approprié résultant du développement économique et industriel, de l'intensification et de l'expansion de l'agriculture, et de l'augmentation des volumes d'eaux usées provenant des zones à urbanisation rapide, favorisent davantage la dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines dans le monde entier. Étant donné que la pollution de l'eau exerce une influence sur la disponibilité des ressources en eau, elle doit faire l'objet d'une gestion appropriée afin d'atténuer l'impact de l'augmentation de la pénurie des ressources en eau.

# PREMIÈRE PARTIE

## RÉFÉRENCE ET CONTEXTE

**Chapitre 1** | Introduction

**Chapitre 2** | Les eaux usées et le  
Programme de développement durable

**Chapitre 3** | Gouvernance

**Chapitre 4** | Aspects techniques des  
eaux usées





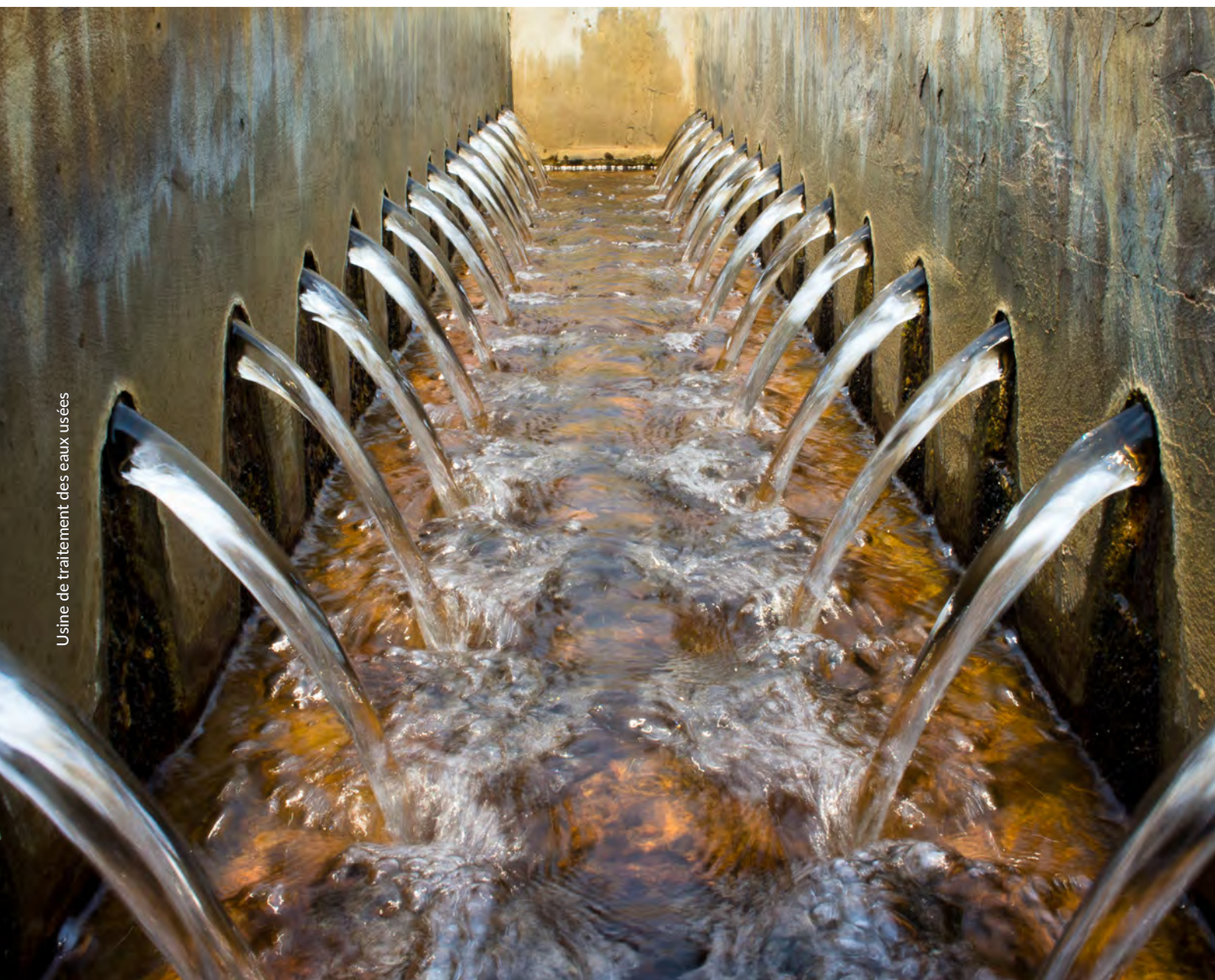
# CHAPITRE 1

**WWAP** | Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül and Stefan Uhlenbrook

**Avec la contribution de :** Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUE) ; Sara Marjani Zadeh (FAO) ; et Manzoor Qadir (UNU-INWEH)

# INTRODUCTION

Usine de traitement des eaux usées



*Ce chapitre introductif fait un tour d'horizon du rapport en présentant les principaux problèmes et défis liés à la gestion des flux d'eaux usées dans le contexte plus large de la gestion des ressources en eau, soulignant l'importance des eaux usées en tant que ressource précieuse mais négligée, en particulier dans une situation de pénurie des ressources en eau.*

Les eaux usées sont une composante essentielle du cycle de l'eau et doivent être gérées dans l'ensemble du cycle de gestion de l'eau : à partir du prélèvement, du traitement, de la distribution, de l'utilisation, de la collecte et du traitement après utilisation de l'eau douce, jusqu'à sa réutilisation et son retour ultérieur à l'environnement, où elle réapprovisionne la source pour des prélèvements d'eau ultérieurs (voir figure 1.1). Toutefois, le plus souvent, l'attention accordée à la gestion de l'eau après qu'elle a été utilisée constitue un volet négligé du cycle de gestion de l'eau. La gestion des eaux usées fait généralement l'objet de très peu d'attention aux plans politique et social par rapport aux défis liés à l'approvisionnement en eau, en particulier dans un contexte de pénurie des ressources en eau. Pourtant, ces deux éléments sont indissociables et négliger les eaux usées peut avoir des effets nuisibles sur la durabilité des approvisionnements en eau, la santé humaine, l'économie et l'environnement.

Les eaux usées demeurent une ressource sous-estimée, bien souvent perçue comme un fardeau à éliminer ou une nuisance à ignorer. Il est nécessaire de changer cette perception pour tenir compte de sa valeur. En effet, les eaux usées constituent potentiellement une source abordable et durable d'eau, d'énergie, de nutriments, de matières organiques et d'autres sous-produits utiles. L'amélioration de la gestion des eaux usées, y compris la récupération et réutilisation en toute sécurité de l'eau et d'autres constituants, offre un éventail d'opportunités. Cela est particulièrement vrai dans le contexte d'une économie circulaire<sup>2</sup>, dans laquelle il existe un équilibre entre le développement économique et la protection de l'environnement et des ressources, et où une économie plus propre et plus durable a un effet positif sur la qualité de l'eau.

Les eaux usées, également désignées comme « eaux usagées » ou « effluents », sont définies de différentes façons. Ainsi, il n'existe pas une définition universellement acceptée du terme. Par exemple, les eaux usées ont été définies comme « les eaux qui ont été utilisées et qui contiennent des matières résiduelles dissoutes ou en suspension » (US EPA, s.d.a.), ou « des eaux dont la qualité a été

négativement affectée par les activités humaines » (Culp et Culp, 1971, p. 614). L'expression « eaux usées » est généralement assimilée aux eaux d'égout, ce qui limite la définition aux eaux usagées (provenant de sources domestiques, industrielles ou institutionnelles) s'écoulant dans les égouts, excluant donc les eaux de ruissellement non collectées provenant des implantations urbaines et des systèmes agricoles. Toutefois, étant donné que les eaux de ruissellement urbain et agricole peuvent être fortement polluées (et éventuellement être mélangées avec d'autres flux d'eaux usées), elles constituent également des éléments importants du cycle de gestion des eaux usées.

Le présent rapport adopte une définition large et inclusive des eaux usées, adaptée de Raschid-Sally et Jayakody (2008), qui est utilisée précisément dans le document « L'eau malade » produit par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Programme des Nations Unies pour les établissements humains (ONU-Habitat) (Corcoran et al., 2010) et l'Exposé analytique d'ONU-Eau sur la gestion des eaux usées (ONU-Eau, 2015a) :

**Les eaux usées** sont perçues comme une combinaison d'un ou de plusieurs des éléments suivants : les effluents domestiques constitués d'eaux-vannes (excréments, urine, boues fécales) et d'eaux grises (eaux usagées provenant du lavage, de la lessive et du bain) ; les eaux provenant des commerces et institutions, y compris les hôpitaux ; les effluents industriels, les eaux pluviales et autres eaux de ruissellement urbain ; les eaux de ruissellement agricole, horticole et aquacole (Raschid-Sally et Jayakody, 2008, p. 1.).

Plusieurs autres termes connexes sont également difficiles à définir. Par exemple, les termes « réutilisées », « recyclées » et « récupérées » ont dans certains cas été utilisés comme des synonymes, tandis que dans d'autres cas chacun d'eux a été défini de manière spécifique, quoique de différentes façons.

Les termes utilisés dans le présent rapport reflètent les définitions adoptées dans le contexte du Programme de développement durable à l'horizon 2030 (voir chapitre 2) et plusieurs autres « normes » internationales. Ils sont décrits dans le lexique (voir Annexe 1). Malheureusement, ces termes ne font pas toujours la distinction entre eaux usées traitées, partiellement traitées ou non traitées, information

---

<sup>2</sup> Définition fournie dans le lexique (Annexe 1).



pourtant essentielle dans de nombreux contextes. C'est pour cette raison que des tentatives ont été faites tout au long de ce rapport pour spécifier explicitement le niveau de traitement existant ou nécessaire, le cas échéant. Il est toutefois important de reconnaître le dilemme qui existe en ce qui concerne les multiples terminologies et de reconnaître que des efforts seront nécessaires afin de développer un ensemble clair de définitions pour assurer la cohérence dans le suivi et les rapports concernant les eaux usées. Cette nécessité est particulièrement essentielle pour la sélection d'indicateurs appropriés (voir, par exemple, encadré 1.1 :

Les termes « sûr » et « amélioré » dans le contexte des OMD (WWAP, 2015, p. 15)).

Historiquement, les eaux de surface ont été utilisées comme un moyen pour l'évacuation directe des eaux usées et d'autres formes de déchets, polluant les masses d'eau situées en aval des villes et villages (voir encadré 1.1). Cette pratique a reculé dans la plupart des pays développés depuis la fin du XIXe siècle et le début du XXe siècle avec l'essor des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées (PNUE, 2015a) et des avancées dans la gestion des déchets

### ENCADRÉ 1.1 SYSTÈMES D'EAUX USÉES ARCHÉOLOGIQUES : LE CAS DE LA ROME ANTIQUE

La gestion des eaux usées est une pratique qui remonte à plusieurs millénaires, et qui a évolué et s'est améliorée au fil de l'histoire humaine. À titre d'illustration, les Étrusques ont mis au point des systèmes de canaux pour collecter différents flux d'eau, et les Romains ont ensuite assimilé ces techniques, les ont améliorées et adaptées à leurs besoins.

Les premiers égouts de la Rome antique ont été construits par Tarquin le Superbe vers le septième siècle avant J.-C. Ils consistaient en un système de canaux à ciel ouvert qui drainaient les eaux provenant des marais au fond des vallées des sept collines (inhabitables à l'époque) et les convoyaient vers le Tibre. Ces systèmes de drainage ont évolué lentement et les Romains ont finalement construit un système complexe d'égouts couverts de pierres, semblable aux drains modernes. L'échappement des latrines était envoyé dans l'égout principal et ensuite, par le biais d'un canal central, dans la rivière ou le ruisseau le plus proche.

Le segment le plus avancé du système d'égouts romain a été la *Cloaca Maxima*, le plus grand des différents collecteurs d'eaux usées couverts. Construit à l'origine comme un canal d'eau douce, il a été transformé vers les IIe et Ier siècles avant J.-C. en un tunnel souterrain monumental avec murs de tuf et voûtes.

Connu comme étant le plus grand égout (traduction littérale de son nom) de Rome, la *Cloaca Maxima* est un chef-d'œuvre d'ingénierie hydraulique et d'architecture. Il s'agit de l'un des plus impressionnants ouvrages d'art consacrés à l'assainissement dans le monde antique, qui a assuré le drainage nécessaire à la création du Forum Romain et qui est devenu la pièce centrale d'un réseau d'assainissement qui fournissait les services d'hygiène aux collines autour de Rome. Une gravure de Piranesi montre le collecteur, sous son visage de 1778, où les eaux usées étaient déversées dans le Tibre près du Ponte Palatino.

Cependant, ce processus a finalement conduit à une forte pollution du Tibre, créant un grave problème pour les Romains qui utilisaient l'eau de ce fleuve comme eau de boisson, de cuisson, de vaisselle et autres. Décharger les égouts en aval de la ville n'était pas suffisant pour garantir la bonne qualité de l'eau en amont. En outre, parce que le réseau de drainage transportait les eaux d'égout et les eaux de ruissellement urbain (c'est-à-dire un « réseau unitaire d'égouts »), des reflux provenant des grandes ouvertures le long des rues survenaient souvent pendant les épisodes de fortes précipitations, exposant ainsi les Romains aux eaux d'égout à l'état brut.

Pour drainer les eaux pluvieuses des rues vers la *Cloaca*, les Romains ont construit des drains circulaires spéciaux ayant la forme de grands masques, représentant les dieux du fleuve qui avalent les eaux (la célèbre Bouche de la Vérité en faisait probablement partie). Une autre caractéristique particulière du réseau d'égouts romain était la redevance requise pour utiliser les latrines publiques ou pour la location de pots de chambres, ce qui en faisait l'un des premiers exemples historiques de l'approche utilisateur-payeur dans les services d'assainissement.

Une étude de la *Cloaca Maxima* et d'autres égouts réalisée en 1889 a entraîné la restauration des parties qui pouvaient être reliées au réseau d'égouts « moderne » et utilisées dans un projet dont la ville de Rome continue de bénéficier aujourd'hui.

Sources : Ammerman (1990) ; Bauer (1993) ; Narducci (1889) ; Lanciani (1890) ; et Bianchi (2014).

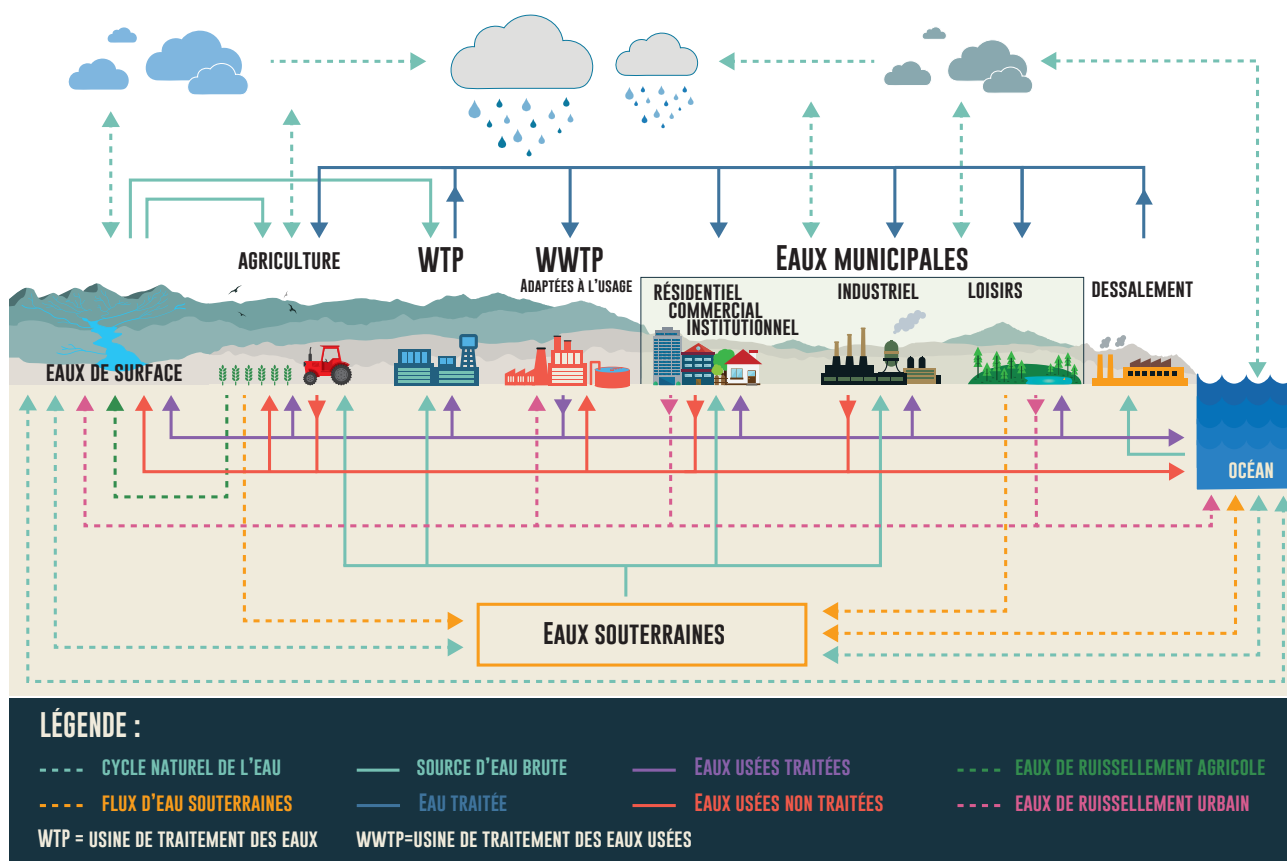
Contribution de Chiara Biscarini et Lucio Ubertini (UNESCO-PHI Italie).

**Tableau 1.1 Exemples d'impacts négatifs des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et les activités de production**

| Domaines des répercussions | Exemples de répercussions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Santé                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de la baisse de la qualité de l'eau potable</li> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de la baisse de la qualité des eaux de baignade</li> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de l'insalubrité des aliments (contamination du poisson, des légumes et d'autres produits irrigués)</li> <li>• Augmentation du risque de maladie si on travaille ou on joue dans une zone irriguée par des eaux usées</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Environnement              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la biodiversité</li> <li>• Dégradation des écosystèmes aquatiques (par exemple eutrophisation et zones mortes)</li> <li>• Odeurs nauséabondes</li> <li>• Diminution des possibilités de loisir</li> <li>• Augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES)</li> <li>• Hausse de la température des eaux</li> <li>• Bioaccumulation de toxines</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Économie                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baisse de la productivité industrielle</li> <li>• Baisse de la productivité agricole</li> <li>• Baisse de la valeur marchande des récoltes, si des eaux usées insalubres sont utilisées pour l'irrigation</li> <li>• Réduction des possibilités de loisirs aquatiques (baisse du nombre de touristes, ou touristes moins disposés à payer pour des services de loisirs)</li> <li>• Diminution des prises de poissons et de crustacés, ou baisse de la valeur marchande du poisson et des mollusques et crustacés</li> <li>• Augmentation du fardeau financier sur les soins de santé</li> <li>• Accroissement des entraves au commerce international (exportations)</li> <li>• Augmentation des coûts de traitement de l'eau (pour l'approvisionnement humain et d'autres usages)</li> <li>• Baisse des prix des propriétés situées à proximité des masses d'eau contaminées</li> </ul> |

Source : Adapté de PNUE (2015b, Tableau 1, p. 15).

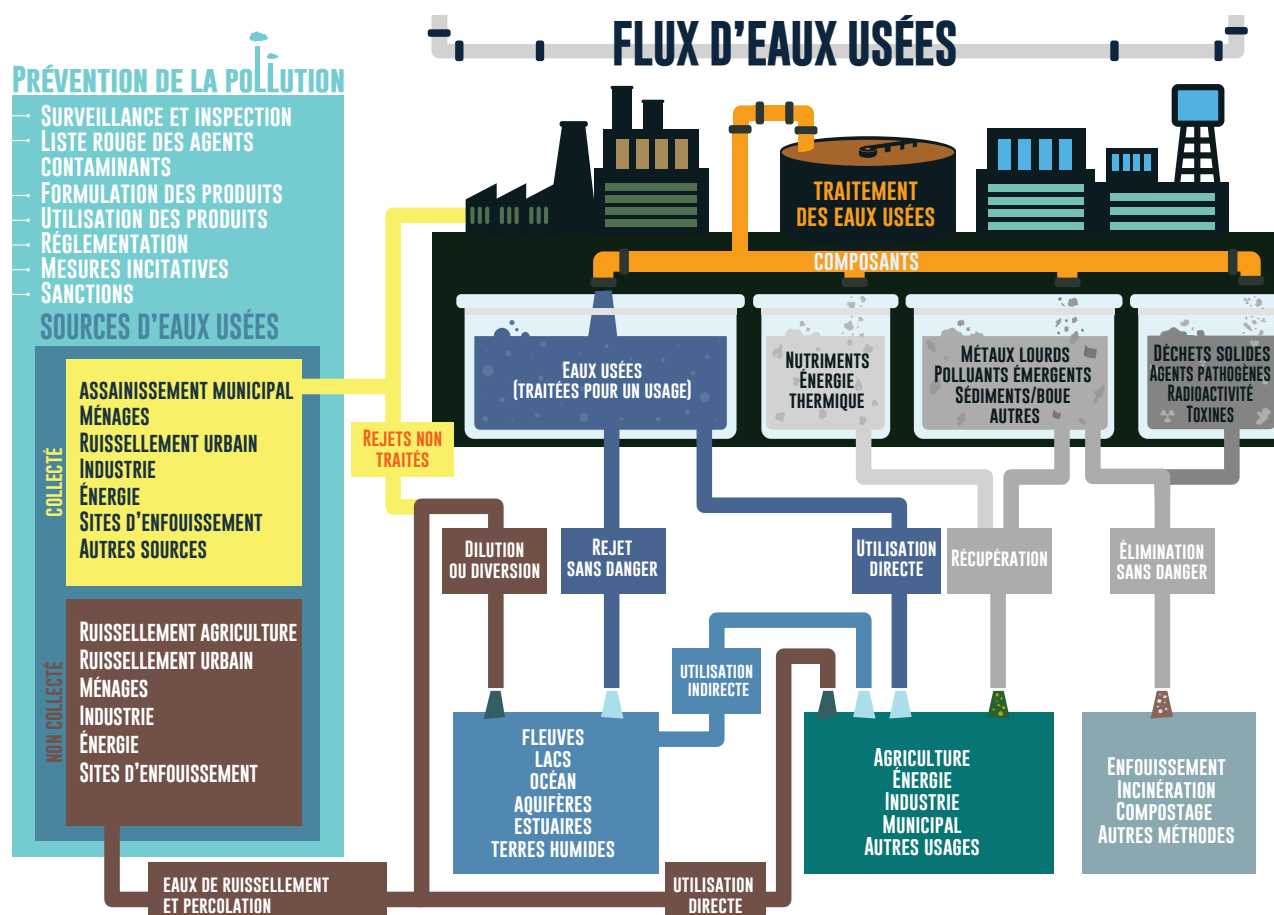
**Figure 1.1 Eaux usées dans le cycle de l'eau**



Source: WWAP



Figure 1.2 Flux d'eaux usées



Source : WWAP.

solides, qui ont permis d'engranger des bénéfices considérables pour la santé publique. Cependant, le rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement reste courant, en particulier dans les pays en développement, avec des répercussions directes sur la santé humaine (les femmes étant notamment les plus exposées), l'environnement et la productivité économique (voir le tableau 1.1).

Étant donné qu'une très faible quantité d'eaux usées est traitée, et que la quantité utilisée après traitement est encore plus faible, il reste d'immenses possibilités pour réutiliser l'eau traitée d'une manière durable, et en extraire certains de ses sous-produits récupérables. Avec un contrôle approprié, l'utilisation des eaux usées non traitées offre également de nombreuses possibilités pour alléger le fardeau qui pèse sur les réserves d'eau douce souterraine et de surface, surtout dans les régions arides et semi-arides, et d'autres régions sujettes à des pénuries chroniques ou récurrentes des ressources en eau.

## 1.1 Flux d'eaux usées

Les flux d'eaux usées sont aussi variés que leurs sources et leurs constituants, ces derniers étant fonction des premières. La figure 1.2 donne un aperçu

des principaux flux d'eaux usées, de leur génération à la source à leur devenir final. Les eaux usées non collectées (et tous leurs constituants) terminent leur course dans l'environnement aquatique. C'est également le cas des eaux usées qui sont recueillies et éliminées sans traitement, dont la proportion peut dans certains cas être considérable (voir les figures 4.4 et 4.5). Le traitement des eaux usées peut permettre la séparation de l'eau d'autres constituants, qui peuvent ensuite être réutilisés ou éliminés.

### 1.1.1 Le cycle de gestion des eaux usées

Le but ultime de la gestion des eaux usées est le contrôle et la réglementation des différents flux d'eaux usées. Le cycle de gestion des eaux usées peut être réparti en quatre phases ou étapes fondamentales interconnectées :

- La prévention ou la réduction de la pollution à la source, en termes de charge de pollution et de volume des eaux usées produites.**  
L'interdiction ou le contrôle de l'utilisation de certains contaminants pour éliminer ou limiter leur entrée dans les flux d'eaux usées par des moyens réglementaires, techniques et autres. Cette étape comprend également des mesures visant à réduire les volumes d'eaux usées générés (par exemple

gestion de la demande et efficacité accrue de l'utilisation des ressources en eau).

- b) **L'élimination des contaminants des flux d'eaux usées.** Des systèmes opérationnels (y compris les infrastructures de collecte) et des procédés de traitement qui permettent d'éliminer divers constituants des eaux usées (c.-à-d. Les contaminants) afin qu'elles puissent être utilisées ou réintroduites sans danger dans le cycle de l'eau avec des effets environnementaux minimes. Il existe plusieurs types et niveaux de traitement des eaux usées, dont le choix dépend de la nature des contaminants, de la charge de pollution et de l'utilisation finale envisagée des effluents.
- c) **L'utilisation des eaux usées (c'est-à-dire la réutilisation de l'eau).** Utilisation sans risque des eaux usées traitées ou non traitées dans certaines conditions contrôlées à des fins bénéfiques. Historiquement utilisées principalement pour l'irrigation, les technologies de traitement des eaux usées ont maintenant progressé pour permettre l'utilisation des eaux usées traitées à d'autres fins, à condition que le niveau de traitement et la qualité des effluents soient « appropriés pour l'usage envisagé ».
- d) **La récupération de sous-produits utiles.** Divers constituants des eaux usées peuvent être extraits, soit directement (par exemple la chaleur, les nutriments, les matières organiques et les métaux) ou par des processus de transformation supplémentaire (par exemple le biogaz à partir de la boue ou les biocarburants à partir des microalgues). Il existe un nombre croissant de possibilités potentiellement rentables en matière d'extraction des matières utiles à partir des eaux usées, telles que l'azote et le phosphore qui peuvent être transformés en engrais.

Un rôle supplémentaire du cycle de gestion des eaux usées est d'en atténuer les impacts négatifs sur la santé humaine, l'économie et l'environnement.

Lorsque les multiples avantages de l'amélioration de la gestion des eaux usées sont pris en compte, plusieurs de ces processus peuvent être considérés comme rentables, ce qui ajoute de la valeur à l'ensemble du cycle de gestion des eaux usées tout en soutenant la poursuite du développement de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement.

En se fondant sur l'hypothèse selon laquelle il est possible de mettre les exigences en termes de qualité de l'eau en adéquation avec les lieux d'utilisation de l'eau, il est possible de rendre la réutilisation de l'eau plus abordable que la fourniture d'un traitement approfondi de l'eau à chaque point de prélèvement le long d'un bassin fluvial grâce à des systèmes

d'utilisations multiples avec réutilisation de l'eau en cascade, d'une eau de qualité supérieure à une eau de plus faible qualité (PNUE, 2015c).

## 1.2 Les eaux usées comme ressource : saisir les opportunités

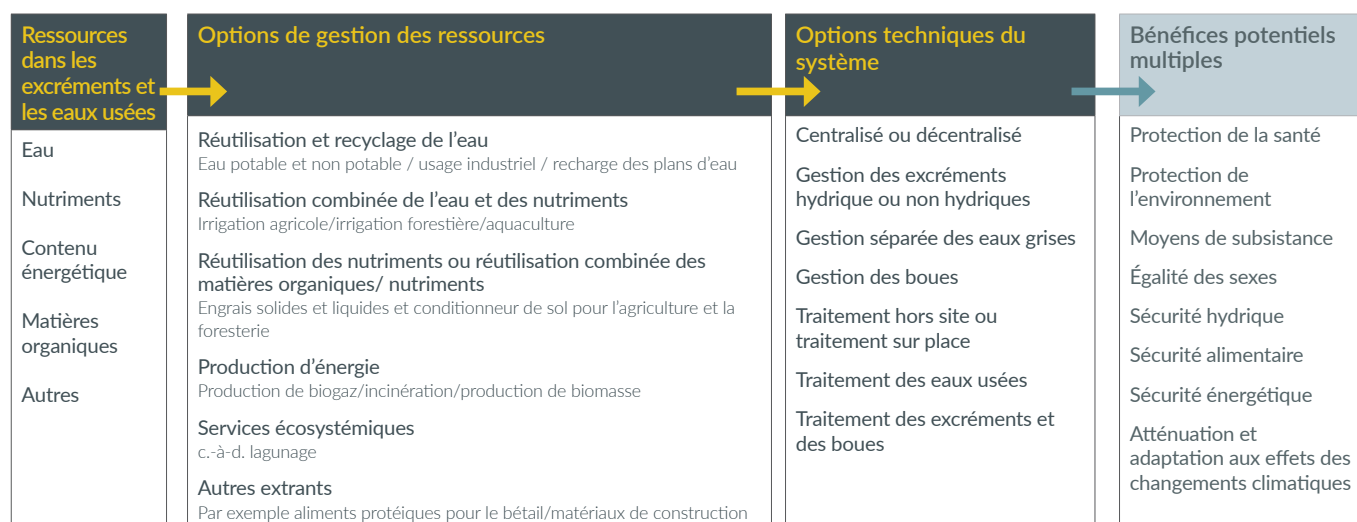
Dans la pratique, le but est d'aller au-delà de la simple réduction de la pollution pour chercher à obtenir une plus-value à partir des eaux usées, si ce n'est que pour avoir un moyen supplémentaire de payer pour la gestion des eaux usées et d'améliorer la viabilité économique du système.

Cependant, la gestion des eaux usées constitue déjà un élément clé des différents cycles de ressources et est en bonne position pour jouer un rôle central dans l'économie circulaire. L'utilisation d'une eau ayant subi un traitement adéquat pour l'agriculture et la production d'électricité augmente les possibilités en matière de sécurité alimentaire et énergétique, et peut aider à soulager le stress causé par la demande croissante des ressources en eau. Cela aura un effet positif sur les approvisionnements en eau douce, la santé humaine et environnementale, les revenus (moyens d'existence) et la lutte contre la pauvreté. Par ailleurs, la réutilisation de l'eau peut générer de nouvelles possibilités d'affaires et favoriser la promotion d'une économie verte.

Les écosystèmes aquatiques (par exemple les étangs, les marécages et les lacs) offrent d'autres solutions à faible coût pour améliorer la gestion des eaux usées, à condition d'être gérés de façon durable. Bien que la planification de l'utilisation et les marchés fonctionnels des eaux usées pour les services écosystémiques constituent un phénomène relativement récent, l'évaluation de l'utilisation des eaux usées traitées pour les services écosystémiques révèle des avantages économiques et environnementaux certains.

L'utilisation informelle des eaux usées est déjà répandue, par simple convenance ou comme une question de simple besoin, et trop souvent en l'absence de mesures de contrôle de sécurité appropriées. Les mesures visant à promouvoir l'utilisation directe de certains types d'eaux usées non traitées peuvent être relativement faciles à mettre en œuvre, certes, mais le coût de la mise en place de systèmes de traitement pour la récupération des eaux usées provenant de certaines activités humaines peut être prohibitif dans certains cas. Il peut aussi avoir une inadéquation entre l'emplacement de la source et le rythme de production des eaux usées et leur utilisation finale. Par conséquent, les systèmes de gestion des eaux usées doivent être conçus en fonction de leurs caractéristiques (origine, composants et niveau de contaminants) et de l'utilisation finale prévue du flux d'effluents, y compris tous les sous-produits utiles,

**Figure 1.3** Encadrement de la gestion des eaux usées du point de vue des ressources



Source: Andersson et al. (2016, fig. 3.1, p. 27).

car ils détermineront les sources d'eaux usées les plus appropriées et les plus pratiques.

De solides arguments économiques militent en faveur de l'optimisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau douce, de la gestion des eaux usées comme une ressource et de l'élimination (ou du moins la réduction) de la pollution au point d'utilisation. L'utilisation des eaux usées à leur source, ou le plus près possible de leur source, améliore généralement le rapport coût-efficacité en raison de la faiblesse des coûts liés à leur transport. La faiblesse du niveau actuel de traitement des eaux usées, en particulier dans les pays en développement, signifie qu'il existe un large éventail d'opportunités en matière de réutilisation des ressources en eau et de récupération des sous-produits utiles, à condition que des mesures incitatives et des modèles d'affaires appropriés soient mis en place pour aider à couvrir les coûts qui sont considérables. Des études de marché récentes montrent qu'il existe une tendance positive en ce qui concerne les investissements dans les installations de traitement de l'eau et des eaux usées dans les pays en développement. Dans le monde entier, les dépenses annuelles en capital sur les infrastructures de traitement de l'eau et les infrastructures de traitement des eaux usées par les services publics sont estimées à 100 milliards et 104 milliards de dollars américains, respectivement (Heyman et al., 2010).

Étant donné que la gestion des eaux usées est mise en œuvre au niveau local, les interventions et les solutions techniques devront être fonction du lieu (voir chapitre 3). À cet égard, il existe des opportunités dans la poursuite de l'intégration de la gestion des eaux usées, et notamment l'assainissement et la gestion des boues fécales, avec la gestion des ressources en eau et des déchets solides. Cela nécessite des structures de gouvernance qui favorisent la collaboration au-delà des frontières institutionnelles,

ainsi que la reddition de comptes et la conformité aux réglementations relatives à l'utilisation des eaux usées et l'extraction/l'utilisation des sous-produits récupérés. Par-dessus tout, la gestion des eaux usées doit être planifiée à partir de « l'amont », à la source, afin de compléter les solutions de fin de chaîne « en aval ».

Un certain nombre de pressions sur les ressources en eau sont à l'origine de la nécessité de l'utilisation accrue des eaux usées. La croissance démographique, l'urbanisation, le changement des modes de consommation, les changements climatiques, la perte de la biodiversité, la croissance économique et l'industrialisation ont tous une incidence sur les ressources en eau et les flux d'eaux usées, avec des répercussions sur la pollution de l'atmosphère, de la terre et de l'eau. Une meilleure approche de la gestion des eaux usées aidera à atténuer l'impact de certaines de ces pressions.

Du point de vue des ressources (voir figure 1.3), la gestion durable des eaux usées nécessite : i) des politiques favorables qui permettent de réduire la charge de pollution à l'avance ; ii) des technologies adaptées qui permettent d'assurer un traitement adapté à l'usage prévu afin d'optimiser l'utilisation des ressources ; et iii) la prise en compte des avantages liés à la récupération des ressources. Une telle perspective favorise la mise en œuvre de mécanismes financiers novateurs, tout en suivant une démarche de précaution et le principe du pollueur-payeur. Il est de la responsabilité des gouvernements nationaux de créer l'environnement politique favorable à des structures tarifaires équitables qui aident à assurer le fonctionnement et l'entretien des infrastructures existantes, et attirent de nouveaux investissements dans le cycle de gestion des eaux usées.



# CHAPITRE 2

WWAP | Angela Renata Cordeiro Ortigara et Richard Connor

Avec la contribution de : Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUE) ; Marianne Kjellén (PNUD) ; Carlos Carrión-Crespo et María Teresa Gutiérrez (OIT) ; Pay Drechsel (IWMI) ; Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; Kate Medlicott (OMS) ; et Shigenori Asai (Forum de l'eau, Japon)

## LES EAUX USÉES et le PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT DURABLE





Ce chapitre examine la gestion des eaux usées dans le contexte du Programme de développement durable à l'horizon 2030, avec une attention particulière pour les efforts requis en vue de promouvoir les synergies et de résoudre les éventuels conflits entre l'objectif eau et d'autres ODD.

## 2.1 Programme de développement durable à l'horizon 2030

Le 25 septembre 2015, 193 États Membres de l'Assemblée générale des Nations Unies ont adopté le Programme de développement durable à l'horizon 2030 avec un ensemble d'objectifs à atteindre en vue de mettre fin à la pauvreté, protéger l'environnement, et assurer la prospérité pour tous. Ce Programme comprend 17 Objectifs de développement durable (ODD) (voir figure 2.1), chacun assorti de cibles spécifiques à atteindre sur une période de 15 ans (AGNU, 2015a). Les ODD sont interdépendants et indivisibles et s'appuient sur les progrès et les leçons tirées de la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement (OMD, 2000-2015).

Figure 2.1 Les Objectifs de développement durable



Source : Organisation des Nations Unies (s.d.a.).

Dans le cadre des OMD, la cible 7c appelait les États membres à réduire de moitié, à l'horizon 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas d'accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base. Alors que l'objectif lié à l'eau potable a été signalé comme réalisé trois ans avant l'échéance (UNICEF/OMS, 2012), l'objectif d'assainissement n'a pas été atteint. En effet, si 2,1 milliards de personnes ont accès à des installations sanitaires améliorées depuis 1990, 2,4 milliards de personnes n'y ont toujours pas accès et près de 1 milliard de personnes dans le monde continuent de pratiquer la défécation en plein air (UNICEF/OMS, 2015).

L'expérience des OMD a montré qu'au-delà des questions d'approvisionnement et d'assainissement, un objectif plus large, plus détaillé et spécifique au contexte était nécessaire pour l'eau. C'est la

réponse qu'apporte l'ODD 6 du Programme 2030 en appelant à l'amélioration de la gestion des ressources en eau de manière globale, inclusive et intégrée.

À ce titre, il met un accent particulier sur : l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène ; la qualité de l'eau et les eaux usées ; l'efficacité dans l'utilisation de l'eau et les pénuries d'eau ; la gestion intégrée de l'eau ; la protection des écosystèmes ; la coopération internationale et le renforcement des capacités ; et la participation des parties prenantes (voir tableau 2.1).

Les objectifs et les cibles feront l'objet d'un suivi et d'un examen à l'aune d'indicateurs mondiaux, mais chaque pays se doit de fixer des objectifs nationaux tant pour le traitement des eaux usées que pour la qualité de l'eau (AGNU, 2015a).

La mesure des progrès réalisés dans le Programme de développement à l'horizon 2030 est fonction du caractère spécifique, mesurable, réalisable, pertinent et limité dans le temps des indicateurs associés à cette tâche. Le Groupe d'experts interinstitutions sur les indicateurs (GEII-ODD) a été créé pour élaborer un cadre d'indicateurs afin de mesurer les progrès accomplis en vue de la surveillance des objectifs et cibles du Programme de développement à l'horizon 2030 au niveau mondial, et pour soutenir sa mise en œuvre. Les États membres seront également susceptibles d'élaborer leurs propres indicateurs nationaux et régionaux pour compléter les indicateurs de niveau mondial devant être approuvés par l'Assemblée générale des Nations Unies.

Deux indicateurs de niveau mondial ont été proposés pour suivre l'état d'avancement de la cible 6.3 des ODD, qui est la plus étroitement liée à la gestion des eaux usées (ONU-Eau, 2016 a) :

**6.3.1** Proportion des eaux usées traitées sans danger : Les eaux usées traitées de manière sûre générées par les ménages (égout et boues fécales) et les activités économiques (par exemple les industries) proportionnellement à l'ensemble des eaux usées générées par les ménages et les activités économiques.

**6.3.2** Proportion des plans d'eau dont la qualité de l'eau ambiante est bonne : Proportion dans un pays des plans d'eau (surface) dont la qualité de l'eau ambiante est bonne comparativement à tous les plans d'eau dans le pays. « Bonne » indique une qualité de l'eau ambiante qui n'endommage pas les fonctions de l'écosystème et la santé humaine en fonction des indicateurs fondamentaux de la qualité de l'eau ambiante.

## L'amélioration du traitement des eaux usées et l'augmentation de la réutilisation de l'eau, invoquées par la cible 6.3 des ODD, soutiendront la transition vers une économie circulaire

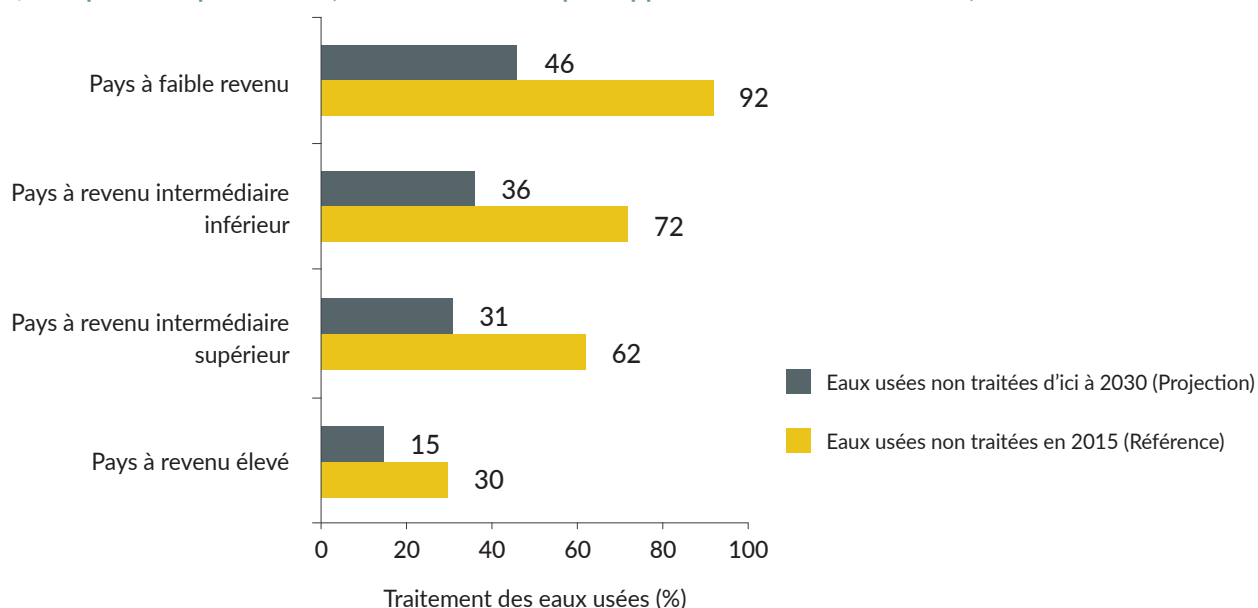
**Tableau 2.1** Cibles et indicateurs de l'ODD 6

| <b>ODD 6</b><br><b>Assurer la disponibilité et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement pour tous</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TARGET                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | INDICATORS                                                                                                                                                                                                             |
| 6.1 D'ici à 2030, assurer l'accès universel et équitable à l'eau potable, à un coût abordable                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6.1.1 Proportion de la population utilisant des services d'eau potable gérés en toute sécurité                                                                                                                         |
| 6.2 D'ici à 2030, assurer l'accès de tous, dans des conditions équitables, à des services d'assainissement et d'hygiène adéquats et mettre fin à la défécation en plein air, en accordant une attention particulière aux besoins des femmes et des filles et des personnes en situation vulnérable                                                                                | 6.2.1 Proportion de la population utilisant des services d'assainissement gérés en toute sécurité, notamment des équipements pour se laver les mains avec de l'eau et du savon                                         |
| 6.3 D'ici à 2030, améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant nettement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau    | 6.3.1 Proportion des eaux usées traitées en toute sécurité<br>6.3.2 Proportion des plans d'eau dont la qualité de l'eau ambiante est bonne                                                                             |
| 6.4 D'ici à 2030, faire en sorte que les ressources en eau soient utilisées beaucoup plus efficacement dans tous les secteurs et garantir la viabilité des prélèvements et de l'approvisionnement en eau douce afin de remédier à la pénurie d'eau et de réduire nettement le nombre de personnes qui manquent d'eau                                                              | 6.4.1 Variation de l'efficacité de l'utilisation des ressources en eau<br>6.4.2 Niveau de stress hydrique : prélèvements d'eau douce en proportion des ressources en eau douce disponibles                             |
| 6.5 D'ici à 2030, assurer la gestion intégrée des ressources en eau à tous les niveaux, y compris au moyen de la coopération transfrontière selon qu'il convient 6.5                                                                                                                                                                                                              | 6.5.1 Degré de mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau (0-100)<br>6.5.2 Proportion de bassins hydriques transfrontaliers où est en place un dispositif opérationnel de coopération en matière d'eau |
| 6.6 D'ici à 2020, protéger et restaurer les écosystèmes liés à l'eau, notamment les montagnes, les forêts, les zones humides, les rivières, les aquifères et les lacs                                                                                                                                                                                                             | 6.6.1 Variation de l'étendue des écosystèmes tributaires de l'eau                                                                                                                                                      |
| 6a D'ici à 2030, développer la coopération internationale et l'appui au renforcement des capacités des pays en développement en ce qui concerne les activités et programmes relatifs à l'eau et à l'assainissement, y compris la collecte, la désalinisation et l'utilisation rationnelle de l'eau, le traitement des eaux usées, le recyclage et les techniques de réutilisation | 6.a.1 Montant de l'aide publique au développement consacrée à l'eau et à l'assainissement dans un plan de dépenses coordonné par les pouvoirs publics                                                                  |
| 6b Appuyer et renforcer la participation de la population locale à l'amélioration de la gestion de l'eau et de l'assainissement                                                                                                                                                                                                                                                   | 6.b.1 Proportion d'administrations locales ayant mis en place des politiques et procédures opérationnelles encourageant la participation de la population locale à la gestion de l'eau et de l'assainissement          |

\*Source des indicateurs : ONU-Eau (2016a).

Source : AGNU (2015a).

**Figure 2.2** Pourcentage des eaux usées non traitées en 2015, dans les pays ayant différents niveaux de revenu, et aspirations pour 2030 (réduction de 50 % par rapport à la référence de 2015)



Source : sur la base des données de Sato et al. (2013).

L'un des défis liés à la surveillance des indicateurs de la cible 6.3 des ODD est le manque de données relatives à presque tous les aspects de la qualité de l'eau et de la gestion des eaux usées, en particulier dans les pays en développement. Des données fiables génèrent des avantages sociaux, économiques et environnementaux dans les secteurs public et privé étant donné qu'ils peuvent soutenir des activités de plaidoyer, stimuler l'engagement politique et les investissements, et éclairer la prise de décisions à tous les niveaux (ONU-Eau, 2016a).

Pour atteindre la cible 6.3 des ODD, il sera nécessaire de réaliser d'importants investissements dans les nouvelles infrastructures (grises et vertes, dans les combinaisons appropriées au niveau local) et dans les technologies adaptées afin d'accroître le traitement et l'utilisation des eaux usées. Des investissements sont également nécessaires pour mettre à niveau les infrastructures actuelles, exploiter et entretenir les infrastructures nouvelles et les infrastructures existantes, développer la capacité de gestion des ressources en eau, et surveiller et contrôler la qualité de l'eau et des eaux usées (ONU-Eau, 2015a). En raison des différences dans les niveaux actuels de traitement des eaux usées en général, les efforts nécessaires pour atteindre la cible 6.3 des ODD imposeront une charge financière plus lourde sur les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire inférieur (voir figure 2.2), ce qui les défavorisera d'un point de vue économique par rapport aux pays à revenu élevé et à revenu intermédiaire de la tranche supérieure (Sato et al., 2013).

## 2.2 Synergies et conflits potentiels

La réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030 exigera des efforts concertés pour gérer les conflits potentiels et les synergies entre l'ODD

6 et d'autres ODD. Une analyse minutieuse des objectifs et cibles peut mettre en évidence les conditions dans lesquelles la réalisation d'un objectif peut favoriser la réalisation d'un autre. À l'inverse, dans les situations où l'atteinte d'un objectif est susceptible d'entraver la réalisation d'un autre, il sera nécessaire d'identifier des compromis acceptables (ONU-Eau, 2016b).

### 2.2.1 Synergies potentielles

L'ODD 6 ne peut pas être pleinement réalisé si chacune des cibles est abordée indépendamment. Par exemple, « l'accroissement de l'accès à des services d'assainissement (6.2) doit être harmonisé avec l'accroissement du traitement des eaux usées (6.3) afin de contribuer à assurer une bonne qualité de l'eau ambiante (6.3) et de favoriser le développement d'écosystèmes aquatiques sains (6.6). De même, la bonne qualité de l'eau ambiante (6.3) facilite considérablement la fourniture d'eau potable (6.1), qui doit être fournie de manière durable (6.4), sans conséquence négative pour les écosystèmes aquatiques (6.6). L'accroissement du recyclage et de la réutilisation sans danger (6.3) et l'efficacité dans l'utilisation de l'eau (6.4) augmentent l'eau disponible pour la consommation (6.1) et d'autres usages (6.4), et peuvent réduire l'incidence sur les écosystèmes aquatiques (6.6). Il existe une interdépendance entre l'approvisionnement et l'utilisation durables de l'eau (6.4), la bonne qualité de l'eau ambiante (6.3), et des écosystèmes aquatiques sains (6.6) (ONU-Eau, 2016b).

La réalisation de la cible 6.3 des ODD est également une condition préalable à la réalisation des autres ODD et de l'objectif fondamental de l'élimination de la pauvreté (voir encadré 2.1). La collecte et le traitement appropriés des eaux usées contribuent à protéger la qualité de l'eau dans les bassins fluviaux ainsi que des biens et services qui en

## ENCADRÉ 2.1 PAUVRETÉ, GESTION DES EAUX USÉES ET DÉVELOPPEMENT DURABLE : DES CONCEPTS LARGEMENT INTERDÉPENDANTS

Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (AGNU, 2015a) reconnaît que l'éradication de la pauvreté constitue le plus grand défi mondial. La pauvreté est multidimensionnelle et inclut les privations, telles que la mauvaise santé et la mauvaise alimentation, le manque d'accès aux services, une scolarité déficiente, et le traumatisme psychologique d'avoir à faire face à l'impolitesse et l'humiliation (Narayan et al., 2000 ; PNUD, 2010). Les populations vivant dans les régions les plus pauvres du monde sont les plus affectées par les problèmes de santé liés à l'environnement (OMS, 2016a).

Il existe une corrélation entre la prévalence des maladies diarrhéiques et les problèmes liés à l'eau, à l'assainissement et l'hygiène (Prüss-Üstün et al., 2014). L'accès à de meilleures sources d'eau et à l'assainissement est remarquablement faible au sein des communautés les plus pauvres dans les pays à faible revenu (UNICEF/OMS, 2015 ; UNICEF/OMS, 2014).

Le fardeau que font peser sur la santé les problèmes d'assainissement et la mauvaise gestion des eaux usées touche principalement les enfants ; la même année, le décès de 361 000 enfants de moins de cinq ans aurait pu être évité grâce à la réduction des risques liés à des installations pour se laver les mains, des services d'assainissement et une eau inadéquates (Prüss-Üstün et al., 2014). alors que la collecte des eaux usées au quotidien incombe principalement aux filles et aux femmes (UNICEF/OMS, 2011). Les tâches ménagères sont plus pénibles dans des conditions de pauvreté, ce qui implique que la responsabilité du maintien de la santé de la famille pèse de façon disproportionnée sur les femmes.

Les membres de la société les plus vulnérables et les plus pauvres ont le plus à gagner d'une amélioration de l'assainissement et de la gestion des eaux usées. Les investissements dans l'assainissement en milieu rural et urbain ainsi que dans la collecte et le traitement des eaux usées peuvent donc générer d'énormes avantages en termes de développement économique et social. Le retour sur investissement moyen dans le domaine de l'assainissement est de 5,5 dollars américains pour chaque dollar investi (Hutton et Haller, 2004). Certaines solutions aux problèmes des eaux usées, telles que le recyclage de nutriments ou l'extraction de l'énergie, peuvent également créer de nouvelles possibilités pour la production de revenus et l'élargissement de la base de ressources des ménages pauvres (Simpson-Hébert Winblad et al., 2004). À titre d'exemple, les toilettes à compostage ont le potentiel de fournir une solution à faible coût permettant d'accroître la productivité agricole tout en améliorant l'alimentation et en réduisant l'incidence de la défécation en plein air sur la santé et sur l'environnement (Kvarnström et al., 2014).

*Contribution de Marianne Kjellén (PNUD) et Johanna Sjödin (Facilité pour la gouvernance de l'eau du PNUD - SIWI).*

résultent, tout en réduisant de manière significative le nombre de personnes exposées à des maladies liées à l'eau (cibles 3.3 et 3.9 des ODD), offrant des avantages économiques connexes pour la santé et contribuant à la réduction de la pauvreté (cibles 1.1 et 1.2 des ODD).

Les maladies liées à l'eau et la malnutrition empêchent les gens de travailler et d'aller à l'école, toutes choses qui renforcent le cycle de la pauvreté (PNUD, 2006). Investir dans la gestion des ressources en eau et des eaux usées fournirait des rendements particulièrement élevés en brisant le lien entre l'insalubrité de l'eau et les maladies qui causent la diarrhée, en particulier dans les pays en développement. Une diarrhée prolongée exacerbe la mauvaise santé et la malnutrition chez les enfants, et conduit souvent à un retard de croissance dû à une mauvaise absorption des nutriments et la perte d'appétit (UNICEF/OMS, 2009). Par conséquent, l'amélioration des conditions sanitaires et de la gestion des eaux usées contribue à la réussite des stratégies d'amélioration de la nutrition (cible 2.2 des ODD), réduit les décès évitables chez les enfants (cible 3.1 des ODD) et renforce le taux de fréquentation et la réussite scolaire des enfants (cible 4.7 des ODD).

La réduction du fardeau de la maladie réduit également le temps consacré à prendre soin des membres de la famille malades, ce qui laisse plus de temps pour participer à l'économie formelle (ODD

## ENCADRÉ 2.2 RÔLES DÉVOLUS À CHACUN DES DEUX SEXES ET INTRODUCTION À L'UTILISATION SANS DANGER DES EAUX USÉES

Lorsque le traitement des eaux usées est insuffisant et que l'irrigation par les eaux usées est courante, des mesures de sécurité peuvent être mises en œuvre aux points de contrôle critiques le long de la chaîne alimentaire (de « l'étable à la table ») tel que décrit par l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2006a) et illustré par Amoah et al. (2011), entre autres. L'attention doit être portée sur les rôles des sexes qui peuvent changer de l'exploitation agricole jusqu'à la vente en gros et au détail (Drechsel et al., 2013). Dans les cas où la sensibilisation au risque est faible et difficile à développer, il est important de déterminer la meilleure façon de motiver et de déclencher un changement de comportement, et d'encourager l'adoption de mesures d'atténuation des risques qui tiennent compte des disparités entre les sexes (Drechsel et Karg, 2013). Dans de nombreuses cultures, les femmes assument non seulement la responsabilité principale de l'hygiène et de la santé, mais également de l'utilisation des eaux grises ou des eaux usées. C'est par exemple le cas en Jordanie (Boufaroua et al., 2013), en Tunisie (Mahjoub, 2013) et au Vietnam (Knudsen et al., 2008). Cette connexion offre un potentiel important pour des approches de formation innovantes en vue d'améliorer l'acceptation sociale de l'utilisation sans danger des eaux usées (Boufaroua et al., 2013).

*Contribution de Carlos Carrión-Crespo et María Teresa Gutiérrez (OIT).*



8) et à la prise de décisions sociales et politiques. Les femmes, qui sont souvent les principales dispensatrices de soins et qui sont responsables de l'approvisionnement en eau au sein des ménages, bénéficieraient également de l'amélioration des conditions sanitaires et de la gestion des eaux usées, étant donné qu'elles sont souvent responsables de la gestion et de l'utilisation des eaux grises ou des eaux usées dans l'agriculture (voir encadré 2.2). Les politiques de gestion des eaux usées qui sont inclusives et tiennent compte des disparités entre les sexes contribuent également à la réalisation de l'égalité entre les sexes (ODD 5).

L'amélioration du traitement des eaux usées et l'augmentation de la réutilisation de l'eau invoquées par la cible 6.3 des ODD, soutiendront la transition vers une économie circulaire en aidant à réduire les prélèvements d'eau et la perte de ressources dans les systèmes de production et les activités économiques. Les échanges d'énergie, d'eau et des flux de matières dans les sous-produits des eaux usées peuvent permettre aux entreprises d'améliorer leur performance environnementale et leur capacité concurrentielle. Ces échanges sont souvent mutuellement bénéfiques, favorisant une réduction des coûts de production, de la consommation d'eau et les coûts de traitement des eaux usées (cibles 8.2 et 8.4 des ODD).

La construction de réseaux d'infrastructures de traitement des eaux usées résistants face aux aléas climatiques peut diminuer les pertes économiques directes causées par les catastrophes (cible 11.5 des ODD), tout en améliorant la capacité des établissements humains à se relever après des catastrophes naturelles telles qu'inondations et sécheresses (cible 13.1 des ODD). L'amélioration de la gestion des eaux usées présente également un grand potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre (cible 13.2 des ODD). Les eaux usées peuvent être considérées comme une source d'eau fiable dans la planification et l'élaboration de nouveaux établissements humains et de projets sur les ressources en eau (cible 11.6 des ODD).

La réalisation de la cible 6.3 des ODD contribue également à la réduction de la pollution d'origine terrestre dans les écosystèmes marins (ODD 14 et 15).

## 2.2.2 Conflits potentiels

Dans les cas où les liens entre la cible 6.3 des ODD et d'autres ODD ne sont pas mutuellement bénéfiques, il sera important d'équilibrer les besoins contradictoires et de gérer les compromis.

L'élimination de la faim, l'accroissement de l'autosuffisance alimentaire (cible 2.1 des ODD), et le doublement de la productivité et des revenus des petits producteurs (Cible 2.3 des ODD) sont essentiels à l'éradication de la pauvreté (ODD 1). Toutefois, la réalisation de l'ODD 2 doit également s'accompagner d'une augmentation de la productivité agricole, ce qui

### ENCADRÉ 2.3 « PERTE » DE RESSOURCES EN EAU PAR GASPILLAGE ALIMENTAIRE

L'agriculture est le plus important consommateur d'eau. Différents types d'aliments, tels que les végétaux, ont une très forte teneur en eau (dans certains cas, bien au-delà de 90 %). En Europe, par exemple, la fabrication de produits alimentaires consomme en moyenne environ 5 m<sup>3</sup> d'eau par personne par jour (Förster, 2014). En même temps, avec jusqu'à 1,3 milliard de tonnes de nourriture gaspillées chaque année (WWF, 2015), 250 km<sup>3</sup> d'eau sont « perdus » dans le monde chaque année à travers les déchets alimentaires (FAO, 2013a). Le gaspillage alimentaire peut être défini comme l'élimination des aliments qui étaient propres à la consommation humaine mais sont devenus avariés, périmés ou autrement indésirables (FAO, 2015). Il peut également intégrer les cultures qui ne sont pas récoltées (en raison de la faiblesse des prix sur le marché, par exemple). Au niveau mondial, le pourcentage de la viande et des céréales en proportion des déchets alimentaires est de 21,7 % et 13,4 %, respectivement (Lipinski et al., 2013).

*Contribution de l'Université de Kassel.*

peut conduire à une augmentation de la demande en eau et de l'utilisation d'herbicides, de pesticides et d'engrais, avec pour conséquence une baisse de la qualité et de la quantité de l'eau si les ressources ne sont pas gérées convenablement. Le recours aux meilleures pratiques agricoles doit être encouragé parallèlement à la réduction des déchets alimentaires (voir l'encadré 2.3).

L'amélioration de la couverture en eau potable des établissements humains formels et informels (ODD 11) est une question fondamentale pour la réalisation du droit humain à l'eau et à l'assainissement. Cette amélioration doit s'accompagner de l'expansion de la collecte et du traitement des eaux usées afin d'éviter les répercussions sur la qualité de l'eau, la santé humaine et l'environnement.

La croissance économique (ODD 8) et le développement des petites industries (cible 9.3 des ODD) présentent également des conflits potentiels avec la réalisation de la cible 6.3 des ODD relative à la pollution et au rejet des eaux usées non traitées. Le développement économique ou l'amélioration de « l'accès des petites industries aux services financiers dans les pays en développement » doit s'effectuer en conformité avec la réglementation sur la santé et la sécurité environnementales. La création d'un environnement favorable où les petites industries sont tenues de respecter les réglementations relatives à l'environnement aux fins de l'accès aux services financiers peut constituer une mesure incitative.

Enfin, la réduction des inégalités au sein des pays et entre les pays (cible 10.1 des ODD) permet d'assurer que tous ont accès à des services appropriés de gestion des eaux usées. Il s'agit là de l'une des clés de la réalisation du développement durable et de la garantie de la disponibilité d'une eau de qualité en quantité suffisante pour les générations futures.

# CHAPITRE 3

PNUD | Marianne Kjellén et Johanna Sjödin

Centre sur la législation, les politiques et les sciences relatives à l'eau (sous les auspices de l'UNESCO), Université de Dundee | Sarah Hendry

Avec la contribution de : Erik Brockwell et Anna Forslund (SIWI) ; Florian Thevenon et Lenka Kruckova (WaterLex) ; et Nataliya Nikiforova (CEE-ONU)

# GOUVERNANCE





*Ce chapitre décrit les cadres de gouvernance pour la gestion des eaux usées, y compris les nombreux acteurs et leurs différents rôles, les instruments juridiques et réglementaires, les défis financiers et les possibilités de financement ainsi que les aspects sociaux et culturels.*

La gestion des eaux usées pose de nombreux défis. Lorsque les eaux usées sont évacuées sans traitement, les personnes touchées peuvent se trouver géographiquement ou temporellement à bonne distance du pollueur. Pour cette raison et bien d'autres, la société doit agir collectivement pour promouvoir la santé et protéger les ressources en eau contre la pollution. Les défis que cela implique en matière de gouvernance sont d'ordre juridique, institutionnel, financier, économique et culturel.

Ce chapitre aborde les processus d'élaboration de politiques, de réglementation et de financement, et les enjeux socioculturels de conformité et de mise en œuvre des politiques qui y sont associés.

### 3.1 Acteurs et rôles

Afin de réaliser les objectifs d'amélioration de la qualité de l'eau et de protection des ressources en eau, les individus et les organisations doivent se conformer et agir dans le sens de l'intérêt collectif. Les intentions politiques, soit les objectifs en matière de gestion des eaux usées, sont traduites en lois et règlements, avec des responsabilités assignées aux différents acteurs. Les résultats en matière de politique sont largement tributaires de la façon dont ces responsabilités sont mises en œuvre à tous les niveaux en tenant compte des coûts. Le tableau 3.1 donne un aperçu des fonctions de gouvernance au regard de la gestion des eaux usées. De l'élaboration des politiques et de la législation à la recherche et au développement des capacités, il décrit les rôles types principaux et secondaires et les collaborations transversales nécessaires à la coordination de la mise en œuvre des politiques. L'essentiel des rôles se rapporte à des solutions plus centralisées de gestion des eaux usées, où les réseaux d'assainissement et de drainage de remplacement et locaux peuvent impliquer de nombreux autres acteurs. Par ailleurs, les régions à revenu faible ou éloignées, peuvent souffrir d'un manque d'acteurs responsables ou capables pour mener l'élaboration de politiques et leur mise en œuvre, ce qui exige une attention et un soutien particuliers de la part des décideurs politiques. Partout, la réglementation doit être bien conçue et des ressources doivent être disponibles pour

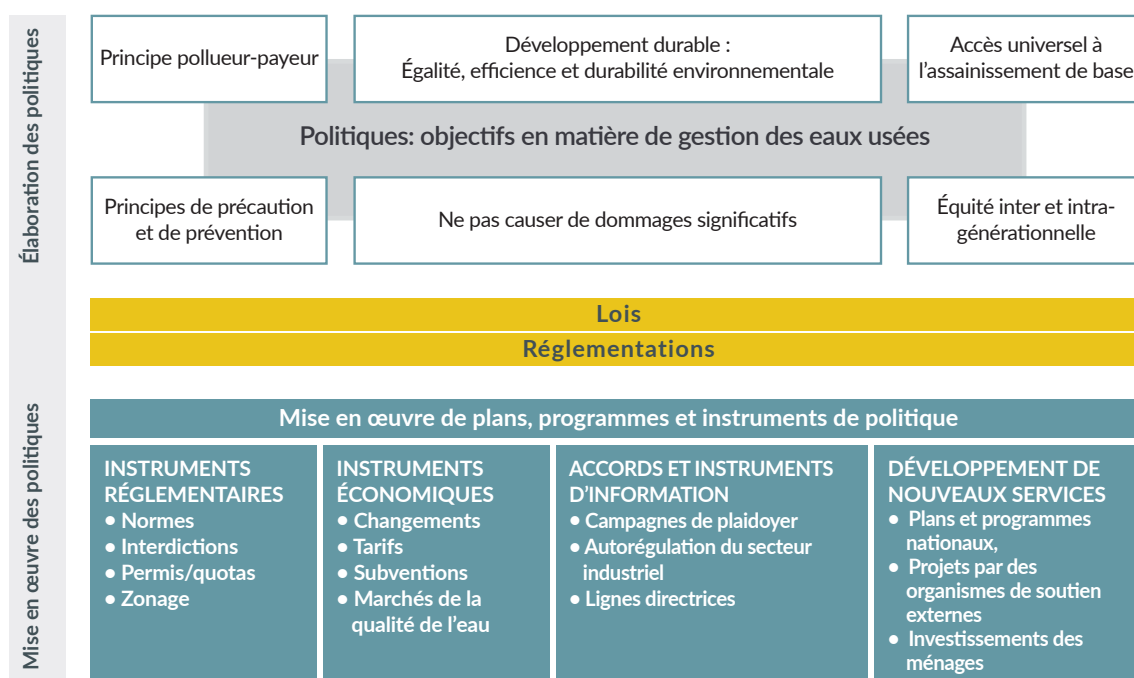
son application. Il peut être particulièrement difficile pour les organismes du secteur public de surmonter les obstacles pratiques à la mise en œuvre des réglementations en matière de qualité de l'eau, même dans les pays très développés.

La coordination des acteurs de tous horizons est un défi qui va bien au-delà de la gestion des eaux usées. Il existe plusieurs approches intégrées et intersectorielles de gestion des ressources en eau et des terres (dynamique amont-aval, ressources en eau urbaines, etc.) qui aident à surmonter la pensée « en silo » et sans lesquelles les acteurs peuvent poursuivre des intérêts restreints ou en conflit (cf. DAES, 2004 ; Partenariat mondial pour l'eau, 2013). La coordination de systèmes équipés de différentes technologies ou à couverture inégale constitue un défi particulier, qui peut être résolu soit en veillant à étendre les réseaux d'égouts à l'intégralité d'une zone de service, soit en intégrant les solutions réelles sur le terrain (par exemple la gestion des boues fécales par des véhicules ou des latrines gérées par les ménages dans le cadre d'un système ayant un fonctionnement cohérent).

Les partenariats public-privé dans la fourniture de services de traitement des eaux usées ont engendré une vague de réexamen des réglementations, notamment dans les années 90. Pour confier à des cabinets privés locaux ou internationaux des services qui étaient auparavant fournis par des ministères ou des organismes parapublics, de nouvelles méthodes d'autorisation et de supervision des opérations ont été instituées dans plusieurs pays (Finger et Allouche, 2002). Il est de plus en plus admis que l'amélioration de la surveillance réglementaire est requise pour les fournisseurs de services aussi bien privés que publics (Kjellén, 2006 ; Gerlach et Franceys, 2010).

Il existe d'importantes différences dans l'ampleur des opérations. Les infrastructures à grande échelle, prédominantes dans les pays à revenu élevé, bénéficient d'économies d'échelle, mais requièrent de solides capacités de gestion centralisée et de capacités techniques. Dans les pays à faible revenu, les systèmes centralisés à grande échelle ont une tendance à ignorer les établissements informels ou à faible revenu. La décentralisation peut être une stratégie pour

**Figure 3.1** Niveaux institutionnels d'élaboration et de mise en œuvre des politiques



Source : Élaborée par les auteurs ; conçue par Johanna Sjödin.

surmonter la couverture de service inégale des systèmes décentralisés, mais elle se présente également comme une réponse communautaire à la couverture de services incomplète (voir chapitre 15).

Les deux tiers environ de la population mondiale a accès à des installations sanitaires améliorées (UNICEF/OMS, 2015). Le raccordement des égouts à de grands systèmes centralisés est plus courant dans les pays à revenu élevé, et dans des régions urbaines de la Chine et des pays à revenu intermédiaire d'Amérique latine (Kjellén et al., 2012). La majorité des gens s'appuient sur une certaine forme de services décentralisés ou fournis par eux-mêmes, parfois avec le soutien des ONG mais souvent sans l'assistance d'autorités centrales (voir figure 5.1). L'ODD 6 (voir chapitre 2) fixe une cible pour « l'accès de tous, dans des conditions équitables, à des services d'assainissement et d'hygiène adéquats » d'ici à 2030 (AGNU, 2015a), reconnaissant qu'il est peu probable que les systèmes hydriques deviennent universels.

La planification, la construction, le financement et l'exploitation de systèmes de rechange devraient davantage impliquer les habitants eux-mêmes, ce qui contribue au développement d'un leadership local, de l'entrepreneuriat et d'une ingénierie pratique. Les propriétaires fonciers peuvent engager des actions et peuvent avoir la responsabilité de réduire les volumes et les incidences, mais les questions telles que le drainage ne sont pas faciles à gérer au niveau local. Les autorités municipales ou les ministères des Travaux publics ont tendance à assumer la responsabilité principale de la gestion des eaux de ruissellement

urbain. Or, pour éviter la pollution, les ordures et le déversement de déchets, la collaboration de l'ensemble des résidents et des entreprises est essentielle et nécessite une combinaison d'activités de plaidoyer, d'incitations et de réglementations. Le projet pilote « Orangi » à Karachi au Pakistan est un exemple classique où la communauté, avec le soutien de mécènes, a réussi à construire un système d'égouts en copropriété abordable payé par la communauté locale (Hasan, 1988).

## 3.2 Politiques, législation et réglementation

Les cadres politiques mondiaux pour la gestion des eaux usées comprennent le Programme 2030 (AGNU, 2015a), qui s'appuie davantage sur d'autres instruments de politique mondiale en matière de ressources en eau, d'environnement et de développement ainsi que sur les principes de protection de l'environnement, à l'exemple des principes de prévention et de précaution et du principe pollueur-payeur (CNUED, 1992). La reconnaissance mondiale du droit humain à l'eau et à l'assainissement (AGNU, 2010 ; AGNU, 2015b) a aussi des conséquences sur la politique de gestion des eaux usées, dans la mesure où elle appelle les États membres à adopter des politiques visant à accroître l'accès aux services d'assainissement et à s'assurer que les ressources en eau sont protégées contre la pollution (AGNU, 2014).



**Tableau 3.1** Acteurs, rôles et fonctions en matière d'eaux usées

| <b>Fonctions</b> \ <b>Acteurs</b>                                                                                                         | <b>Législateur/ politique/ décideur politique</b>                                                             | <b>Organismes de réglementation (environnement, santé, économie)</b>                                                                                                                         | <b>Propriétaire du système (ville, ministère, agence de bassin)</b>                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Législation                                                                                                                               | Définir et adopter des lois à travers un processus de consultation inclusif                                   | Partager les attentes concernant le rôle de gouvernance                                                                                                                                      | Partager les attentes concernant le rôle de gouvernance                                                                                                                            |
| Élaboration des politiques                                                                                                                | Définir et adopter des politiques de mise en œuvre de la loi à travers un processus de consultation inclusive | Partager des informations sur la situation actuelle et les préférences en matière de politiques                                                                                              | Partager des informations sur la situation actuelle et les préférences en matière de politiques                                                                                    |
| Planification, coordination et budgétisation                                                                                              | Définir les modalités pour la planification, la coordination et la budgétisation                              | Partager les préférences par le biais d'une participation constructive                                                                                                                       | Mener des consultations, définir des normes de prestation de services ; affecter un budget et débloquer les fonds y afférents                                                      |
| Financement de la gestion des eaux usées                                                                                                  | Décider des subventions et des modalités de financement                                                       | Réglementer les tarifs et la qualité du service                                                                                                                                              | Assurer la planification stratégique financière, la prise de décisions sur les tarifs                                                                                              |
| Développement des infrastructures de traitement des eaux usées et exploitation des services et installations de traitement des eaux usées | Orienter les normes/règlementations en matière de construction et d'exploitation des infrastructures          | Réglementer les tarifs et la qualité du service                                                                                                                                              | Coordonner la planification de l'espace, les décisions relatives à l'implantation/ la délimitation des zones ; préparer les appels d'offres, en fonction du type de services/biens |
| Règlementation – surveillance et mise en application                                                                                      | Définir le cadre réglementaire                                                                                | Mettre en œuvre le cadre réglementaire (y compris collecte d'informations auprès des fournisseurs de services et des titulaires de permis, vérification de la conformité, inspections, etc.) | Signaler les actions suspectes                                                                                                                                                     |
| Mécanismes de recours (y compris judiciaires)                                                                                             | Définir les autorités compétentes pour les recours                                                            | Responsable ou partie à la plainte                                                                                                                                                           | Responsable ou partie à la plainte                                                                                                                                                 |
| Conformité et prévention de la pollution                                                                                                  | Élaborer des mesures incitatives pour la prévention et dissuasives pour la pollution                          | Mettre en place des mesures incitatives (y compris la surveillance et les activités de plaidoyer pour la prévention de la pollution et de l'efficacité dans l'utilisation de l'eau)          | Soutenir la mise en œuvre                                                                                                                                                          |
| Plaidoyer et communications                                                                                                               | Définir des objectifs en matière de politiques et défendre l'espace pour la communication                     | Plaidoyer pour la prévention de la pollution et de l'efficacité dans l'utilisation de l'eau                                                                                                  | Sensibilisation et information du public ; solliciter des comportements conformes de la part du secteur industriel et des ménages                                                  |
| Développement des capacités                                                                                                               | Définir des objectifs stratégiques pour le secteur ; et développer les capacités                              | Surveiller les capacités et stimuler le développement                                                                                                                                        | Soutenir le développement                                                                                                                                                          |
| Recherche et innovation                                                                                                                   | Mettre en évidence les besoins en matière de recherche, appuyer la R-D                                        | Mettre en évidence les besoins en matière de recherche, stimuler la R-D                                                                                                                      | Mettre en évidence les besoins en matière de recherche ; orienter et s'engager dans la R-D                                                                                         |

\*L'effet d'ombre a trait au niveau de responsabilité type : le plus sombre = leader ; le plus clair = le moins impliqué

Source : élaboré par les auteurs et les collaborateurs

| Opérateur/ fournisseur de service                                                                                         | Universités, instituts d'études stratégiques, groupes de réflexion                                                                                         | Producteur/consommateur (agriculture, industrie, ménages)                                                                                                     | Société civile, ONG                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Partager les attentes quant au rôle de gouvernance                                                                        | Contribuer à l'élaboration des lois                                                                                                                        | Partager les attentes quant au rôle de gouvernance à travers la participation                                                                                 | Partager les opinions de la société civile quant aux processus de gouvernance pour contribuer à l'élaboration des lois       |
| Partager des informations sur la situation actuelle et les préférences en matière de politiques                           | Partager des contributions étayées par des données factuelles pour l'élaboration de politiques                                                             | Partager des informations sur la situation actuelle et les préférences en matière de politiques                                                               | Partager des informations sur la situation actuelle et les préférences en matière de politiques                              |
| Partager les préférences par le biais d'une participation constructive                                                    | Partager les préférences par le biais d'une participation constructive                                                                                     | Partager les préférences par le biais d'une participation constructive                                                                                        | Partager les préférences par le biais d'une participation constructive                                                       |
| Collecter les informations sur les besoins en matière d'investissement et les coûts de ces investissements                | Possibilité de fournir des renseignements et des conseils                                                                                                  | Payer des tarifs et fournir des informations sur la disposition à payer et la capacité de le faire                                                            | Surveiller la responsabilité financière ; sensibiliser sur les coûts des services.                                           |
| Construire, entretenir, exploiter, assurer la facturation, percevoir les revenus, assurer les relations avec la clientèle | Peut surveiller les processus et agir comme témoin social dans les pactes d'intégrité (outil de prévention de la corruption)                               | Doit être impliqué dans les questions telles que la prise de décisions relatives à l'implantation, à la délimitation des zones, etc.                          | Peut surveiller les processus et agir comme témoin social dans les pactes d'intégrité (outil de prévention de la corruption) |
| Fournir des informations sur demande                                                                                      | Mener des études à long terme et analyser les processus                                                                                                    | L'industrie doit fournir des informations sur demande                                                                                                         | Signaler les actions suspectes aux forces de l'ordre                                                                         |
| Responsable ou partie à la plainte                                                                                        | Expert ( <i>amicus curiae</i> )                                                                                                                            | Responsable ou partie à la plainte                                                                                                                            | Partie à la plainte et / ou expert ( <i>amicus curiae</i> )                                                                  |
| Se conformer à la réglementation ; améliorer la technologie et l'organisation                                             | Soutenir la mise en œuvre                                                                                                                                  | Mise en œuvre d'une technologie de production et de réutilisation moins polluante ; élimination appropriée des déchets ; amélioration des pratiques agricoles | Plaidoyer pour la prévention de la pollution et l'efficacité dans l'utilisation de l'eau                                     |
| Plaidoyer pour la prévention de la pollution et l'efficacité dans l'utilisation de l'eau                                  | Études à long terme et analyse des processus ; activités de sensibilisation                                                                                | Dialogue avec les partenaires et le grand public à propos des messages politiques                                                                             | Sensibiliser                                                                                                                 |
| Développer les aptitudes et professionnaliser la gestion des eaux usées et la fourniture de services                      | Assurer la formation et l'éducation                                                                                                                        |                                                                                                                                                               |                                                                                                                              |
| Participer à la recherche, au développement et tester de nouvelles solutions technologiques                               | Effectuer des recherches sur les polluants, la charge de pollution, les fonctions écologiques, les interactions entre les systèmes, le comportement humain | Participer à la recherche, au développement et aux tests de nouvelles solutions technologiques                                                                | Mettre en évidence les besoins en matière de recherche, participer à la recherche                                            |

L'effet d'ombre a trait au niveau de responsabilité type : le plus sombre = leader ; le plus clair = le moins impliqué

Les organes régionaux et les gouvernements nationaux intègrent ces programmes mondiaux dans leurs politiques de gestion des ressources en eau, la fourniture des services d'eau, et la gestion des eaux usées et des déchets solides. Les décideurs politiques fixent des objectifs reprenant ou découlant de principes plus généraux (voir les cercles de la figure 3.1), qui peuvent être énoncés dans la loi générale et des réglementations spécifiques (voir les couches de la figure 3.1).

### 3.2.1 Cadres légaux

Tout comme les politiques évoquées ci-dessus, les lois applicables se situent également à plusieurs niveaux.

Les obligations internationales peuvent devenir pertinentes lorsque les eaux usées (par exemple les eaux de ruissellement agricole) s'écoulent dans les fleuves, lacs ou aquifères internationaux. Il existe deux principaux traités mondiaux portant sur la gestion des eaux douces transfrontières :

1. La *Convention des Nations Unies sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation* (ONU, 1997, entrée en vigueur en 2014) exige que les États prennent toutes les mesures appropriées pour ne pas causer de « dommages significatifs » aux autres États du cours d'eau international (Art. 7) et que les États coopèrent pour protéger les cours d'eau internationaux (Art. 8). Plusieurs conventions régionales utilisent également ces principes car ils reflètent le droit international coutumier.
2. La *Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux* (la Convention sur l'eau) a été élaborée à titre d'instrument régional par la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU, 1992). Elle est entrée en vigueur en 1996 et a été ouverte aux États membres des Nations Unies à travers le monde depuis 2013. La Convention sur l'eau se penche sur l'impact transfrontière, la durabilité, les principes de précaution et du pollueur-payeur (Art. 2), et comporte l'obligation de contrôler les émissions de polluants et l'autorisation préalable des rejets d'eaux usées.

Ces conventions ont encadré l'élaboration de traités et d'accords régionaux et bilatéraux. Le droit international de l'environnement s'applique à la gestion des déchets solides, y compris les déchets dangereux, et à la gestion de la pollution atmosphérique, toutes choses pouvant affecter la qualité de l'eau, parfois loin du point de décharge.

Au niveau régional, la Directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne (UE) (2000/60/CE) (UE, 2000)

#### ENCADRÉ 3.1 CADRE INSTITUTIONNEL INTERNATIONAL VISANT À PROTÉGER LA QUALITÉ DE L'EAU CONJOINTEMENT DANS LE DANUBE ET LA MER NOIRE

Le bassin fluvial du Danube, deuxième plus long fleuve d'Europe, draine l'eau de 19 États pour la déverser dans la mer Noire. Historiquement, la Commission internationale pour la protection du Danube\* traitait des utilisations aux fins de navigation. La coopération dans la région Danube/ mer Noire est un exemple de partenariat œuvrant à différentes échelles afin d'atteindre plusieurs objectifs et impliquant différents acteurs, dans le cadre de lois transfrontières, régionales et nationales.

La Commission, en tant que principal groupe de gestion, a élaboré une Stratégie de participation pour impliquer les parties prenantes. Un financement considérable a été mis en place à travers les projets relatifs aux eaux internationales du Fonds pour l'environnement mondial (FEM). Il s'agissait notamment de travailler avec les États et la Commission pour identifier et mettre en œuvre un portefeuille d'investissement de près de 500 projets représentant des investissements dans la réduction de la pollution pour un montant de plus de 5 milliards de dollars américains (Hudson, 2012).

*Le manque de traitement des eaux usées a été une importante motivation de ce programme d'investissement. En 2010, l'usine centrale de traitement des eaux usées de Budapest est entrée en fonction dans le cadre du projet « Danube Vivant ». Elle assure le traitement de 95 % des eaux usées de Budapest avant leur rejet dans l'environnement, tout en en récupérant également les nutriments et l'énergie.*

\*Pour plus d'informations, voir [www.icpdr.org/main/danube-basin](http://www.icpdr.org/main/danube-basin)

s'applique à la gestion de la qualité de l'eau, y compris des eaux usées. La Directive-cadre sur les déchets utilise l'approche des « 3R », à savoir réduire, recycler et réutiliser, ainsi que les principes de précaution et du pollueur-payeur (2008/98/CE) (UE, 2008). La législation sur les déchets solides est très pertinente en matière d'assainissement non hydrique et de gestion des boues. Le Protocole sur l'eau et la santé de la Convention sur l'eau (CEE -ONU/OMS, 1999, entrée en vigueur en 2005) exige des parties qu'elles définissent des cibles nationales et locales couvrant l'intégralité du cycle de l'eau, y compris l'assainissement, dans le but de protéger la santé et le bien-être humains à travers l'amélioration de la gestion des ressources en eau, la protection des écosystèmes aquatiques, et la prévention, le contrôle et la réduction des maladies liées à l'eau. D'autres traités régionaux sur l'eau, tels que le Protocole sur les cours d'eau partagés de

l'Afrique Australe, signé pour la première fois par la Communauté de Développement d'Afrique Australe (SADC) en 1995 et révisé en 2000 (SADC, 2000), et l'Accord de coopération pour le développement durable du bassin du Mékong (MRC, 1995), reflètent les dispositions générales de la Convention des Nations Unies sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau (Organisation des Nations Unies, 1997) et le droit international coutumier, telles que l'obligation de ne pas causer de dommage et la notification de mesures projetées, mais ne sont pas aussi précis en ce qui concerne la gestion des eaux usées transfrontières.

L'essentiel des lois de lutte contre la pollution est élaboré et appliqué au niveau national ou local. Toutefois, dans un bassin fluvial transfrontière, les eaux usées déversées dans un pays peuvent avoir des répercussions en aval dans un autre pays. Les cadres internationaux et régionaux peuvent aider les États à gérer ces effets transfrontières. L'encadré 3.1 présente un exemple d'action engagée aux niveaux régional, national et local pour gérer l'eau et les eaux usées.

### 3.2.2 Règlementation

S'agissant de la protection de l'environnement, la réglementation se rapporte généralement à l'utilisation de permis et licences, à l'application de normes en matière d'émissions et de qualité des eaux usées, ou au zonage pour l'utilisation des terres (Sternier, 2003). La réglementation régit également la création de systèmes de collecte et d'installations de traitement en fixant des normes appropriées en matière de traitement et de réutilisation à des fins différentes. La réglementation « économique » est utilisée dans les services urbains, qui comprennent la fourniture d'eau potable et la gestion des eaux usées municipales. Elle garantit le respect des normes techniques et de service et assure que les tarifs et les niveaux d'investissement sont suffisants pour couvrir les coûts du service, tout en offrant un rendement raisonnable pour des investissements futurs (Groom et al., 2006). Les solutions doivent aussi tenir compte du contexte et refléter les différents stades de développement. Le contrôle ou l'interdiction de l'utilisation de certaines substances constitue un autre moyen de les empêcher de pénétrer dans les flux d'eaux usées (voir encadré 4.2 et section 5.4.1).

Les réglementations peuvent aborder le niveau de traitement ou le processus lui-même, en spécifiant un « traitement secondaire », ou l'utilisation des « meilleures techniques disponibles » qui peuvent ensuite être mieux définies. Elles peuvent également réglementer la qualité des effluents en définissant des normes d'émission. S'il existe des concentrations ambiantes en aval pour les eaux réceptrices, celles-ci peuvent être adaptées pour tenir compte des tendances et des effets cumulatifs.

Lorsqu'un état dispose d'un cadre réglementaire insuffisant ou inexistant en matière de gestion des eaux usées et que ses ressources sont limitées, l'OMS recommande un petit nombre de paramètres essentiels particulièrement pertinents pour la qualité de l'eau, plutôt qu'un plus vaste ensemble de normes inapplicables (Helmer et Hespanhol, 1997). Des directives comprenant un large éventail de paramètres peuvent être émises afin d'aider à gérer les impacts en aval.

Les grands systèmes centralisés bénéficient d'économies d'échelle, mais ils sont longs à développer et difficiles à adapter aux différentes situations socioéconomiques (voir chapitre 12). Dans les pays à faible revenu, il est courant de constater que les pratiques décrites dans les intentions politiques et les instructions réglementaires diffèrent considérablement de ce qui est effectivement mis en œuvre sur le terrain (Ekane et al., 2012 et 2014).

Les établissements urbains informels à travers le monde font également face à des défis particuliers. Les services liés aux eaux usées (par exemple les entreprises de vidange des fosses et d'enlèvement des boues) peuvent être assurés par des fournisseurs privés informels en l'absence de contrôle approprié ou de soutien de la part des autorités compétentes. Si la collecte et le transport ou le recyclage des boues fécales ne sont pas gérés convenablement, les répercussions sur la santé humaine peuvent être graves.

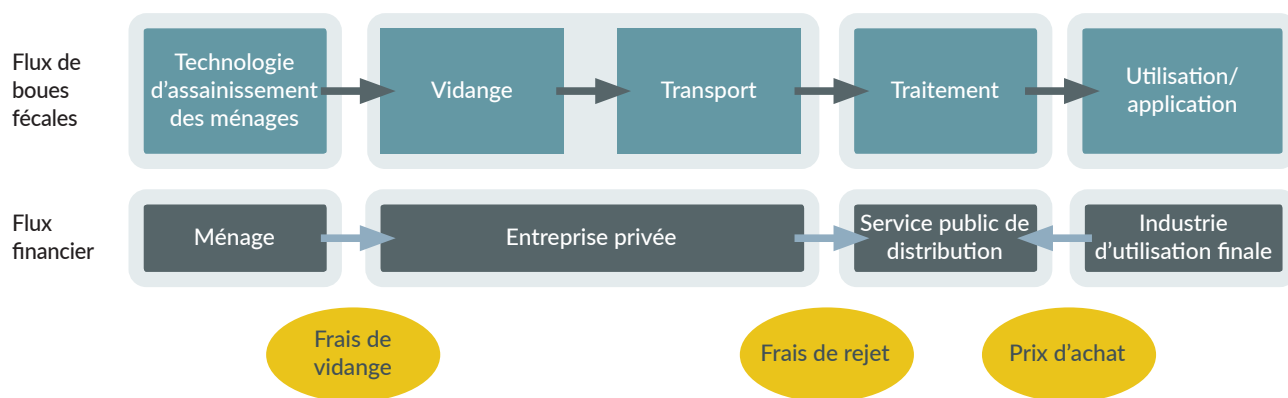
Les eaux usées industrielles peuvent être traitées sur place et recyclées immédiatement, ou déversées dans les flux d'eaux usées municipales (voir chapitre 6).

La faisabilité de la réutilisation de l'eau dépend de son origine et l'utilisation envisagée. En Australie, plusieurs États ont fixé des objectifs pour l'utilisation des eaux usées et le gouvernement australien fournit des directives détaillées en matière de réutilisation de l'eau (NRMMC/EPHC/NHMRC, 2009). Certains États ont élaboré des cadres réglementaires, notamment pour l'utilisation directe comme eau potable (ATSE, 2013).

Les précautions de sécurité sont particulièrement importantes dans le cas de la récupération des eaux usées pour la consommation. Celle-ci nécessite l'utilisation de barrières multiples, à l'aide de plusieurs techniques en série afin d'assurer la qualité de l'eau, ainsi que des systèmes de contrôle avancé et, par-dessus tout, d'excellents systèmes de mesure de la qualité de l'eau. En conséquence, ces systèmes présentent souvent des normes de qualité de l'eau supérieures aux autres sources d'eau (brutes). Néanmoins, de vastes campagnes d'information et de participation du public sont nécessaires pour renforcer la confiance dans le système (voir chapitre 16).



**Figure 3.2** Modèle de flux financiers pour la gestion des boues fécales



Source: Strande et al. (2014, fig. 13.3, p. 279).

Les eaux usées non traitées sont régulièrement utilisées pour l'irrigation agricole et pour l'aquaculture (voir chapitres 7 et 16). L'utilisation des eaux-vannes peut fournir de précieux nutriments, certes, mais elle peut également présenter des risques, non seulement pour les travailleurs mais aussi pour les consommateurs de produits alimentaires (OMS, 2006a).

### 3.3 Financement

La gestion des eaux usées est onéreuse et souffre de problèmes d'action collective ; les avantages qui en découlent profitent à la population et aux générations futures, et non directement à ceux qui investissent dans l'amélioration du traitement ou la réduction de la pollution. En outre, les avantages réels ne deviendront évidents que lorsque tout le monde (ou un nombre suffisant d'acteurs) respectera les règles visant à protéger les ressources en eau contre la pollution. Ainsi, l'assainissement et le traitement des eaux usées sont nettement plus compliqués et plus coûteux que l'approvisionnement en eau potable (Jackson, 1996 ; Hophmayer-Tokich, 2006).

Les instruments économiques peuvent être utilisés pour stimuler la prévention de la pollution, mais pour être efficaces, ils doivent être accompagnés d'actions d'information, de sensibilisation et de réglementation efficaces. Les règles de responsabilité en matière de rejet des polluants ou de taxes sur les effluents peuvent être établies conformément au principe du pollueur-payeur (Olmstead, 2010).

Le financement des infrastructures centralisées de gestion des eaux usées est dominé par les coûts en capital. Dans la plupart des pays, de nouvelles infrastructures ont été financées au moyen de transferts de fonds publics (OCDE, 2010). Plusieurs pays à faible revenu dépendent principalement des transferts au titre de l'aide pour financer les secteurs de l'eau et de l'assainissement (OMS, 2014a). Les pays à revenu intermédiaire dépendent également

des transferts au titre de l'aide. Au Panama, où il existe un fort rejet politique des augmentations tarifaires, les tarifs ont stagné pendant plus de deux décennies (OMS, 2014a ; Fernández et al., 2009).

La réticence à affecter des ressources à l'assainissement et au traitement des eaux usées est illustrée par l'initiative TrackFin<sup>3</sup> qui a été expérimentée dans sa phase pilote au Brésil, au Ghana et au Maroc. Selon l'enquête Analyse et évaluation mondiales de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS), il a été établi que la plupart des fonds sont destinés à la fourniture d'eau potable dans le secteur urbain, même si la couverture de service d'assainissement rural est bien plus faible (OMS, 2014a). Des politiques en faveur des pauvres ou des mesures d'accessibilité peuvent être appliquées à travers la tarification aussi bien de l'eau que des eaux usées. Selon l'enquête GLAAS, plus de 60 % des pays ont indiqué avoir mis en place des régimes d'accessibilité pour l'assainissement, mais ils ne sont largement utilisés que dans la moitié des cas (OMS, 2014a).

Une fois les infrastructures en place, l'exploitation, l'entretien et les coûts en capital à venir sont progressivement couverts par les tarifs payés par les utilisateurs. Cependant, le recouvrement intégral des coûts est souvent problématique. Dans les pays à revenu faible et intermédiaire, les coûts d'exploitation et d'entretien des infrastructures d'assainissement sont plus souvent couverts par des subventions du gouvernement (OMS, 2014a). Subsidièrement, si l'insuffisance des subventions gouvernementales est à prévoir, l'absence de financement peut conduire à l'entretien différé, à un mauvais fonctionnement et à la détérioration du système.

<sup>3</sup> TrackFin : Suivi du financement de l'eau potable, de l'assainissement et de l'hygiène. Pour de plus amples informations, voir [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/investments/trackfin/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/investments/trackfin/en/)

Les avantages liés à la gestion des déchets humains sont considérables pour la société, tant en ce qui concerne la santé publique que l'environnement. Pour chaque dollar dépensé sur l'assainissement, le rendement est estimé à 5,5 dollars américains (Hutton et Haller, 2004). Bien qu'ils soient souvent difficiles à mesurer en termes monétaires, il est important de reconnaître et d'identifier des moyens d'évaluer ces avantages environnementaux et sociaux plus étendus, et d'orienter les ressources financières vers la réalisation de ces investissements (PNUE, 2015b).

Les avantages économiques et environnementaux potentiels de l'utilisation des eaux usées sont considérables (PNUE, 2015b), mais il peut être difficile de financer ces projets par la tarification, étant donné que les utilisateurs de la plupart des centres urbains reçoivent une seule et même facture pour les services d'eau potable, du réseau d'assainissement et de traitement des eaux usées (il n'est pas possible de payer pour un service et pas pour d'autres) et les avantages sont difficiles à évaluer en termes monétaires. Par conséquent, la plupart des projets de réutilisation de l'eau dépendent de subventions financées par l'impôt (Molinos-Senante et al., 2011).

S'agissant de la récupération des nutriments à travers la gestion des boues fécales, plusieurs modèles d'affaires sont réalisables (voir chapitre 16). La figure 3.2 montre un exemple simple, où un service public réalise le recouvrement intégral des coûts grâce à des frais de déversement et des recettes issues de la vente de boues fécales traitées (Strande et al., 2014).

L'analyse coûts-bénéfices est l'outil d'analyse économique le plus largement utilisé et reconnu pour l'évaluation des projets. Une analyse du coût de l'inaction par rapport au coût de l'action est utile pour évaluer les retombées économiques de l'investissement dans les eaux usées (PNUE, 2015b). Guest et al. (2009) soulignent l'importance de l'association des parties prenantes à la prise de décisions pour garantir l'acceptation des propositions, indépendamment de toute preuve d'avantages économiques ou d'économies de coûts.

### 3.4 Aspects socioculturels

L'implication des citoyens dans la prise de décisions à tous les niveaux favorise leur engagement et leur adhésion. C'est le cas, notamment, des décisions relatives aux types d'installations d'assainissement souhaitables et acceptables, et à la façon dont elles peuvent être correctement financées et entretenues à l'avenir (voir tableau 3.1). Il est particulièrement important de toucher les groupes marginalisés, les minorités ethniques, les personnes en situation d'extrême pauvreté dans les zones rurales éloignées ou dans les agglomérations urbaines informelles, et de s'engager auprès des femmes qui devront supporter le fardeau des conséquences sur la santé en cas de gestion non sécurisée des déchets humains.

La perception du public influence la prise de décisions et limite ce qu'il est possible de mettre en œuvre, surtout s'agissant de la réutilisation de l'eau. Certaines possibilités de réutilisation économiquement rationnelles ne sont parfois pas viables, par exemple en raison de la perception selon laquelle les matières fécales peuvent encore être présentes dans des eaux usées dont le traitement est potentiellement insuffisant. Par conséquent, il est important de déterminer quelles utilisations sont sans danger, appropriées et acceptables et avec quel type d'eau. Les perceptions, la sensibilisation aux risques et la division du travail selon le sexe sont aussi des déterminants importants de la façon dont les gens vont protéger leur propre santé et celles des autres s'agissant de l'utilisation des eaux usées pour la production alimentaire (voir encadré 2.2).

En outre, la mise en œuvre des politiques peut entraîner des problèmes sociopolitiques complexes. La corruption est courante dans les services des eaux et des eaux usées, en partie en raison de la situation de monopole des prestataires et de la fréquence des grands projets d'investissement (Transparency International, 2008). S'agissant des permis, de la surveillance et de la mise en application, les encouragements des pratiques de corruption sont monnaie courante, et le fait de « fermer les yeux » favorise la persistance du problème. Dans les cas où la corruption est monnaie courante, il sera important de plaider en faveur de l'impartialité dans l'application de la réglementation (Rothstein et Tannenbergh, 2015).

L'intégrité dans le processus de gestion des ressources en eau peut être favorisée par la création de systèmes plus résistants face à la corruption. En améliorant la transparence, la reddition de comptes et la participation dans le secteur, il est possible de réduire le risque de corruption (PNUD WGF à SIWI/Cap-Net/Water-Net/WIN, 2009 ; WIN, 2016).

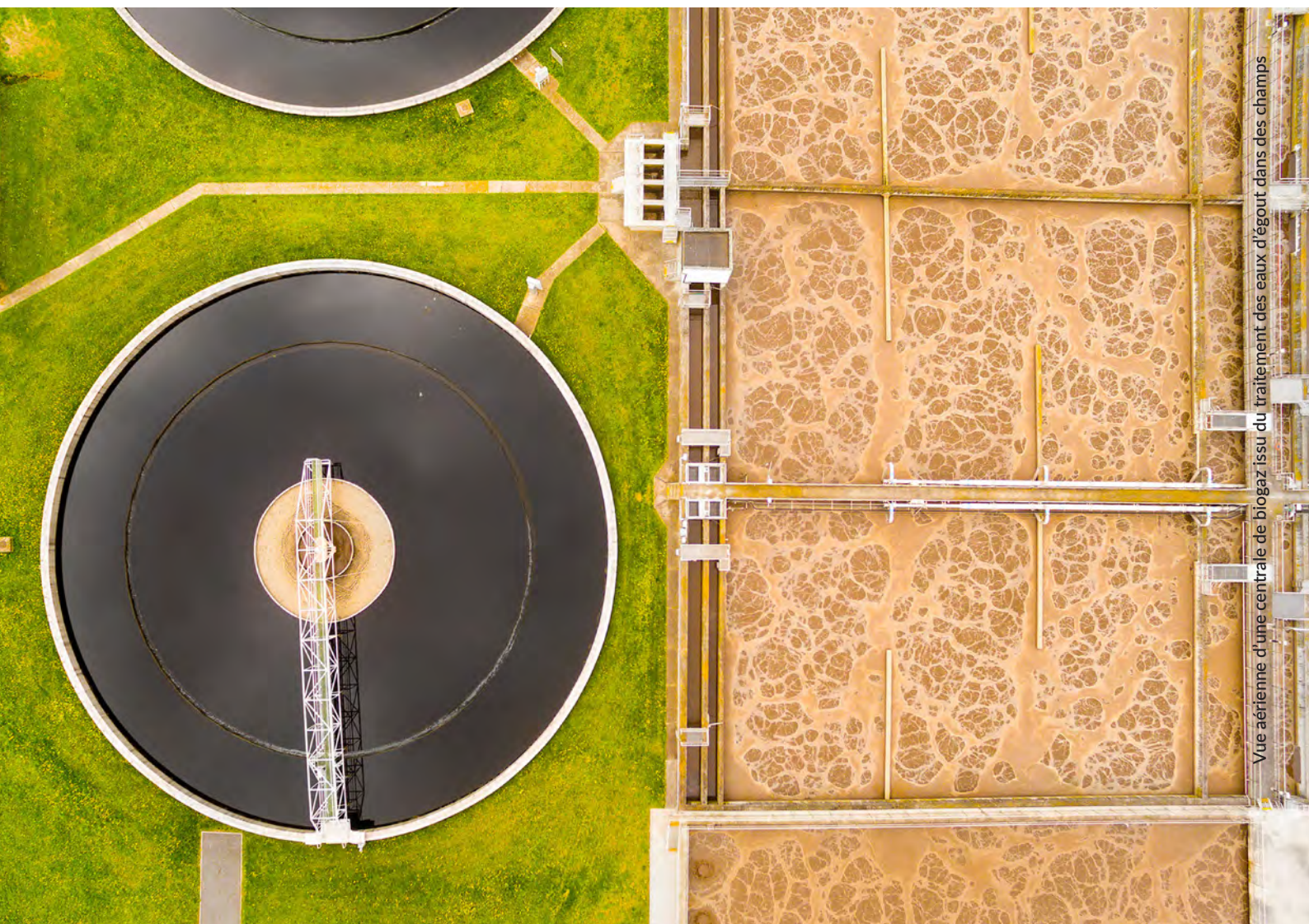


# CHAPITRE 4

WWAP | Angela Renata Cordeiro Ortigara et Richard Connor

**Avec la contribution de :** Jack Moss (AquaFed) ; Kate Heal (Association internationale pour la science du logement) ; Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUE) ; Peter van der Steen et Tineke Hooijmans (UNESCO-IHE) ; Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI) ; Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; et Kate Medlicott (OMS)

## ASPECTS TECHNIQUES des EAUX USÉES



Vue aérienne d'une centrale de biogaz issu du traitement des eaux d'égout dans des champs

*Le présent chapitre résume pour le non-spécialiste de l'eau certains aspects techniques de base de différentes sources d'eaux usées, les impacts potentiels des traitements inappropriés, les technologies de collecte et de traitement, et les besoins en données et informations.*

## 4.1 Sources et composantes des eaux usées

On cite souvent des statistiques selon lesquelles les eaux usées sont théoriquement composées de 99 % d'eau et de 1 % de matières en suspension, colloïdales et dissoutes (voir par exemple ONU-Eau, 2015a). Bien que la composition exacte des eaux usées varie naturellement entre différentes sources et au fil du temps, l'eau demeure de loin son constituant principal. Différentes sources d'eaux usées peuvent présenter d'autres types de composants à des concentrations variables (voir tableau 4.1).

Les eaux usées domestiques et municipales sont susceptibles de contenir des charges bactériennes élevées, bien que la plupart des bactéries présentes dans les matières fécales humaines ne soient pas pathogènes en soi. Toutefois, lorsqu'une infection se produit, un grand nombre de microorganismes pathogènes (tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes) sont répandus dans l'environnement par les matières fécales. Pour réduire le fardeau des maladies, l'élimination des agents pathogènes est souvent le principal objectif des systèmes de traitement des eaux usées.

Les eaux usées issues d'activités industrielles et minières ainsi que de la gestion des déchets solides (par exemple le lessivat des sites de décharge), peuvent également contenir des composés organiques toxiques tels que les hydrocarbures, les biphényles polychlorés (BPC), les polluants organiques persistants (POP), les composés organiques volatils (COV) et les solvants chlorés. De très petites quantités de certains composés organiques peuvent contaminer d'importantes quantités d'eau. Un litre d'essence, par exemple, est suffisant pour contaminer un million de litres d'eau souterraine (Gouvernement du Canada, s.d.).

Les « polluants émergents » (voir encadré 4.1) peuvent être définis comme « tout produit chimique naturel ou synthétique ou tout microorganisme qui n'est pas couramment surveillé dans l'environnement, mais a le potentiel de pénétrer dans l'environnement et d'entraîner des effets écologiques et (ou) des effets sur la santé humaine » (USGS, s.d.). Les principales catégories de polluants émergents présentes dans les eaux usées sont les produits pharmaceutiques (par exemple les antibiotiques, les antalgiques,

### ENCADRÉ 4.1 POLLUANTS ÉMERGENTS

Les polluants émergents sont présents dans des concentrations variables dans les eaux usées municipales traitées et non traitées, les effluents industriels et les eaux de ruissellement agricole qui s'infiltrent dans les fleuves, les lacs et les eaux côtières (UNESCO, 2011). Ils ont également été détectés dans l'eau potable (Raghav et al., 2013), étant donné les procédés classiques de traitement des eaux usées et de purification de l'eau ne sont pas efficaces pour les éliminer. Les technologies avancées de traitement des eaux usées (filtration sur membrane, nanofiltration, ultrafiltration et osmose inverse) peuvent éliminer partiellement certaines substances chimiques et certains composés pharmaceutiquement actifs (González et al., 2016). Les risques potentiels des polluants émergents sur la santé humaine en raison de l'exposition à travers l'eau potable et les produits agricoles demeurent un sujet de préoccupation.

Les effets des différents polluants sur la santé humaine et l'écosystème n'ont été évalués que de façon marginale, tandis que les effets cumulatifs n'ont fait l'objet d'aucune étude. Il est scientifiquement prouvé que de nombreux produits chimiques reconnus comme polluants émergents peuvent potentiellement provoquer des perturbations endocriniennes chez l'être humain et dans la faune aquatique (provoquant des malformations congénitales et des troubles du développement, et affectant la fécondité et la santé reproductive), même à de très faibles concentrations (Poongothai et al., 2007), ainsi que des tumeurs cancéreuses et le développement de la résistance des bactéries pathogènes, y compris la multirésistance aux médicaments.

Source : adapté de Muñoz et al. (2009).

Contribution de Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI).

les anti-inflammatoires, les médicaments utilisés en psychiatrie, etc.), les stéroïdes et hormones (par exemple les médicaments contraceptifs), les produits de soins personnels (par exemple les parfums, les agents de protection solaire, les insectifuges, les microbilles et les antiseptiques), les pesticides et herbicides, les surfactants et leurs métabolites, les retardateurs de flamme, les additifs industriels et produits chimiques, les microbilles et plastifiants et les additifs de l'essence. Les polluants émergents sont rarement contrôlés ou surveillés et des recherches plus poussées sont nécessaires



**Tableau 4.1 Sources d'eaux usées générées et composants types**

| Sources d'eaux usées                                  | Composants types                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eaux usées domestiques                                | Excréments humains (microorganismes pathogènes), nutriments et matières organiques. Peuvent également contenir des polluants émergents (par exemple, produits pharmaceutiques, médicaments et perturbateurs endocriniens).                                                                                                                                                                                                                              |
| Eaux usées municipales                                | Très large éventail de contaminants tels que microorganismes pathogènes, nutriments, matières organiques, métaux lourds et polluants émergents.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Eau de ruissellement urbain                           | Très large gamme de contaminants, notamment : produits de combustion incomplète (par exemple les hydrocarbures aromatiques polycycliques et le carbone noir/la suie provenant de la combustion de combustibles fossiles), caoutchouc, huile moteur, métaux lourds, déchets non dégradables/organiques (surtout les matières plastiques des routes et des espaces de parking), matières en suspension, et engrais et pesticides (provenant des pelouses) |
| Eau de ruissellement agricole (écoulement de surface) | Microorganismes pathogènes, nutriments provenant des engrais appliqués sur les sols, et pesticides et insecticides issus des activités agricoles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Production de bétail                                  | Charges organiques (souvent très élevées) et résidus de médicaments vétérinaires (par exemple antibiotiques et hormones de croissance artificielles).                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Aquaculture terrestre                                 | Les effluents provenant des bassins de sédimentation sont généralement riches en matières organiques, matières en suspension (particules), nutriments dissous, métaux lourds et polluants émergents.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Eaux usées industrielles                              | Les contaminants dépendent du type d'industrie (voir tableau 6.4 pour plus de détails).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Activités minières                                    | Le drainage des résidus contient souvent des matières en suspension, des niveaux élevés d'alcalinité ou d'acidité, des sels dissous, du cyanure et des métaux lourds. Il peut également contenir, selon l'activité minière, des éléments radioactifs (voir tableau 6.4 pour plus de détails).                                                                                                                                                           |
| Production d'énergie                                  | L'eau produite dans le secteur de l'énergie est souvent une source de pollution thermique (eau chauffée) et contient généralement de l'azote (c'est-à-dire de l'ammoniac et des nitrates), des matières dissoutes totales, du sulfate et des métaux lourds (voir tableau 6.4 pour plus de détails).                                                                                                                                                     |
| Lessivage des décharges                               | Contaminants organiques et inorganiques, avec potentiellement de fortes concentrations de métaux et de produits chimiques organiques dangereux.                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Source : base des données de US EPA (2015 et s.d.b.) ; Organisation des Nations Unies (s.d.b.) ; Akcil et Koldas (2006) ; Gouvernement de la Colombie-Britannique (1992) ; et Tchobanoglous et al. (2003).

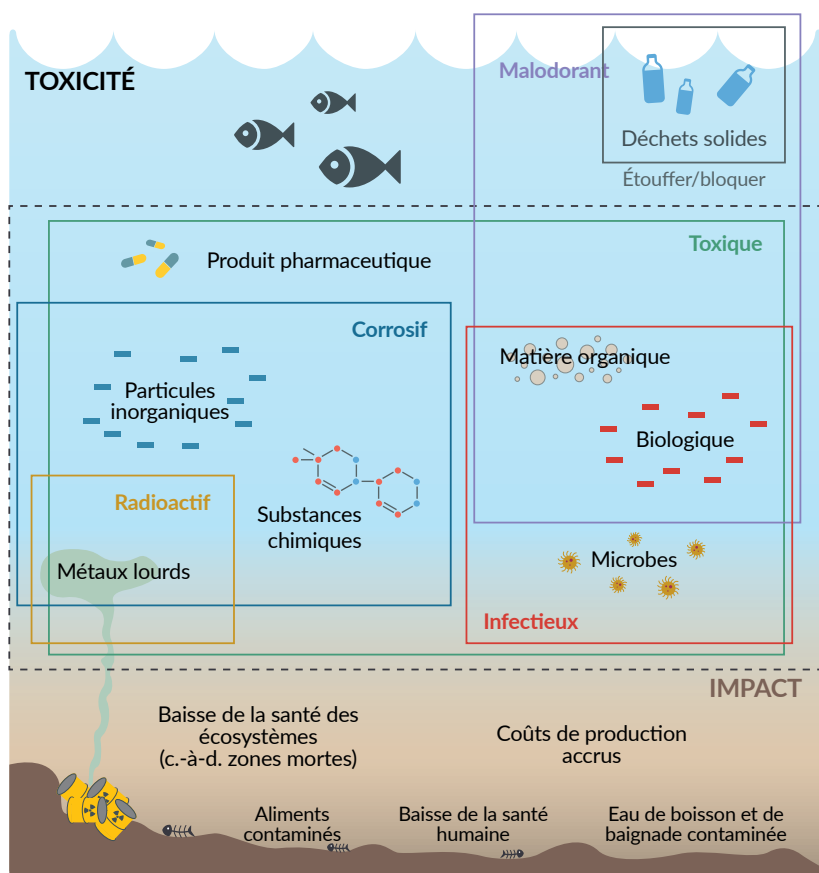
#### ENCADRÉ 4.2 INTERDICTION DE CONTAMINANTS DES EAUX USÉES : L'EXEMPLE DES MICROBILLES

Les microbilles se trouvent dans certains produits de consommation, tels que les nettoyants faciaux et le dentifrice. Après utilisation, ces particules sphériques de polyéthylène ou de polypropylène finissent dans les eaux usées. Une fois que les microbilles entrent dans le système des eaux usées, peu d'installations de traitement des eaux usées sont en mesure de les éliminer des cours d'eau. Les risques pour la vie aquatique et la santé publique ne sont pas encore bien compris, mais les particules elles-mêmes peuvent contenir des toxines ou attirer d'autres toxines dans l'eau (Copeland, 2015).

En décembre 2015, le gouvernement des États-Unis d'Amérique a obligé les fabricants américains à mettre fin à l'utilisation des microbilles dans les produits d'ici le 1<sup>er</sup> juillet 2017 et à la vente des produits contenant des microbilles d'ici le 1<sup>er</sup> juillet 2018. En juin 2016, le Canada a ajouté les microbilles à la liste des substances toxiques en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE), permettant ainsi au gouvernement de réglementer et d'interdire l'utilisation des microbilles (Gouvernement du Canada, 2016). En septembre 2016, le gouvernement du Royaume-Uni a annoncé des plans pour l'interdiction des microbilles dans les cosmétiques et produits de soins personnels (DEFRA, 2016).

Les microbilles peuvent facilement être remplacées par des ingrédients naturels tels que des coquilles d'abricot et d'amande, et plusieurs grandes entreprises ont déjà annoncé qu'elles vont mettre fin à l'utilisation de ces microplastiques. L'action conjointe entre les secteurs public et privé a réussi à balayer les arguments économiques avancés pour justifier le retard dans l'interdiction de ces substances.

Figure 4.1 Composants des eaux usées et leurs effets



Source : adapté de Corcoran et al. (2010, fig. 5, p. 21).

pour évaluer leur impact sur la santé humaine et l'environnement. Il est possible de réduire ou d'atténuer l'utilisation et le rejet de certains types de polluants émergents au moyen de la réglementation gouvernementale (voir encadré 4.2) et de l'engagement du secteur privé.

## 4.2 Impacts du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate

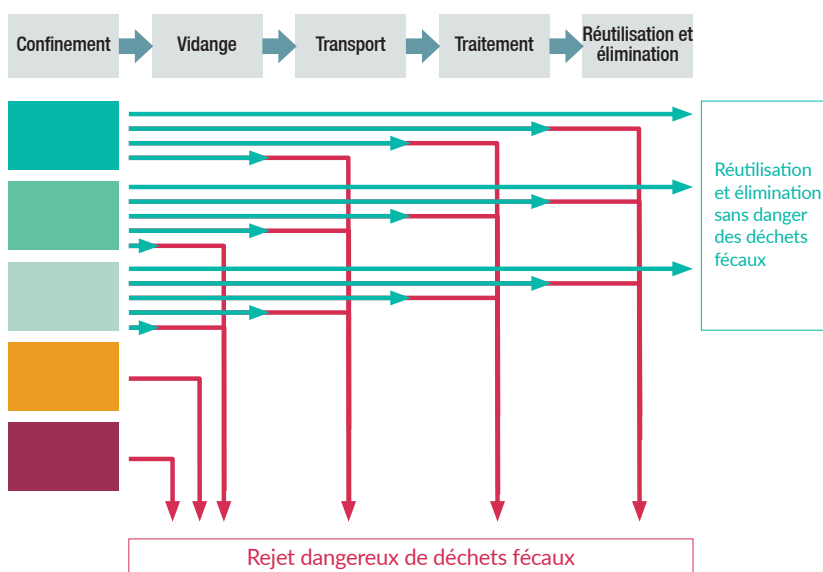
Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement entraîne la pollution des eaux de surface, du sol et des eaux souterraines. Une fois rejetées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrent dans les aquifères, où elles peuvent affecter la qualité (et donc la disponibilité) des approvisionnements en eau douce. L'océan est souvent la destination finale des eaux usées rejetées dans les fleuves et les lacs.

Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être classées en trois catégories : les effets indésirables sur la santé associés à une réduction de la qualité de l'eau ; les effets environnementaux négatifs en raison de la dégradation des ressources en eau et des écosystèmes ; et les effets potentiels sur les activités économiques (PNUF, 2015b). La figure 4.1 présente les composants des eaux usées et leurs effets.

### 4.2.1 Effets sur la santé humaine

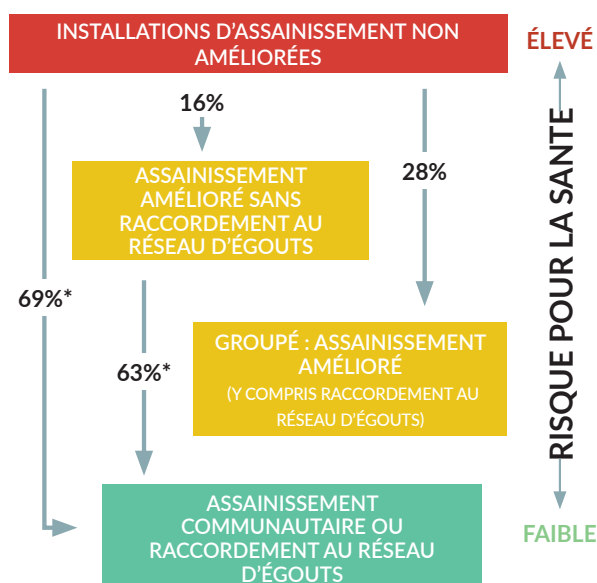
Certes, les installations d'assainissement des ménages se sont considérablement améliorées depuis 1990, mais les risques pour la santé publique demeurent, en raison d'un mauvais confinement, de fuites pendant la vidange et le transport, et d'un traitement inefficace des eaux d'égout (voir figure 4.2). D'après les estimations, seulement 26 % des services d'assainissement et de traitement des eaux usées en zone urbaine et 34 % en zone rurale préviennent efficacement le contact humain avec les excréments tout au long

Figure 4.2 Cadre des déchets fécaux pour estimer la proportion de services d'assainissement et de traitement des eaux usées gérés en toute sécurité



Source : adapté d'UNICEF/OMS (2015, fig. 39, p. 44).

**Figure 4.3 Transitions dans l'assainissement et réductions connexes des maladies diarrhéiques**



\*Ces estimations sont basées sur des données limitées et doivent donc être considérées comme préliminaires. Elles n'ont pas été utilisées dans l'estimation du fardeau actuel de la maladie.

Source : OMS (2014b, fig. 11, p. 12).

de la chaîne d'assainissement et peuvent donc être considérés comme gérés en toute sécurité (Hutton et Varughese, 2016).

Les maladies liées aux eaux usées et à l'assainissement restent largement répandues dans les pays où l'offre de ces services est faible, où l'utilisation informelle d'eaux usées non traitées pour la production alimentaire est élevée, et où la dépendance vis-à-vis de l'eau de surface contaminée pour la consommation et pour le loisir est courante. En 2012, environ 842 000 décès dans les pays à revenu moyen et faible ont été provoqués par de l'eau potable contaminée, des installations de lavage des mains inadéquates et des services d'assainissement inappropriés ou inadéquats (OMS, 2014b).

Améliorer l'assainissement et le traitement des eaux usées constitue également une stratégie d'intervention clé pour combattre et enrayer de nombreuses autres maladies dont le choléra et certaines maladies tropicales négligées, telles que la dengue, la dracunculose, la filariose lymphatique, la schistosomiase, l'helminthiase transmise par le sol et le trachome (Chaignat Aagaard-Hansen et, 2010). L'accès à des installations sanitaires améliorées peut contribuer significativement à la réduction des risques pour la santé (voir figure 4.3) et d'autres gains en matière de santé peuvent être obtenus par le biais de la fourniture de services d'assainissement et d'eaux usées gérés en toute sécurité.

## 4.2.2 Effets environnementaux

Le rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement a un impact sur la qualité de l'eau, qui à son tour affecte la quantité des ressources en eau disponibles pour un usage direct. Les préoccupations concernant la qualité de l'eau se posent comme une dimension importante de la sécurité hydrique dans le monde (voir le prologue). Depuis 1990, la pollution de l'eau est en hausse dans la plupart des fleuves en Amérique latine, en Afrique et en Asie, en raison de l'augmentation des quantités d'eaux usées due à la croissance démographique, l'accroissement de l'activité économique et l'expansion de l'agriculture, ainsi que le rejet d'eaux usées sans aucun traitement (ou uniquement des niveaux minimaux) (PNUE, 2016). La gestion inappropriée des eaux usées a également une incidence directe sur les écosystèmes et les services qu'ils fournissent (Corcoran et al., 2010) (voir chapitre 8).

L'eutrophisation, entraînée par l'excès d'azote et de phosphore, peut entraîner des proliférations d'algues potentiellement toxiques et une baisse de la biodiversité. La décharge d'eaux usées non traitées dans les mers et les océans explique en partie pourquoi les zones mortes désoxygénées sont en pleine croissance : environ 245 000 km<sup>2</sup> d'écosystèmes marins sont touchés, ce qui affecte la pêche, les moyens de subsistance et les chaînes alimentaires (Corcoran et al., 2010)..

**Lorsque le rejet d'eaux usées provoque des dommages à l'environnement, des coûts externes (externalités) sont générés, entraînant la perte des avantages potentiels de l'utilisation des eaux usées**

### 4.2.3 Effets économiques

La disponibilité de l'eau douce étant cruciale pour maintenir le bien-être économique de toute communauté humaine, la mauvaise qualité de l'eau constitue un obstacle supplémentaire au développement économique. La mauvaise qualité de l'eau freine la productivité agricole dans les zones rurales et périurbaines. L'eau contaminée peut affecter directement les activités économiques consommatrices d'eau, telles que la production industrielle, la pêche, l'aquaculture et le tourisme (PNUE, 2015b), et peut indirectement limiter l'exportation de certaines marchandises en raison de restrictions (voire d'interdictions) sur des produits contaminés.

Ainsi, de nombreux petits pays insulaires des Caraïbes sont presque entièrement tributaires de la santé de leurs récifs pour le tourisme, la pêche et la protection des rives (Corcoran et al., 2010), mais ces récifs sont menacés par la décharge d'eaux usées non traitées. Tandis que la pollution des milieux naturels peut entraver les activités économiques, le tourisme lui-même et la demande croissante en installations respectueuses de l'environnement peuvent servir de levier pour les investissements dans l'entretien des environnements naturels, et agir par conséquent comme un facteur de motivation supplémentaire pour améliorer la gestion des eaux usées.

Lorsque le rejet d'eaux usées provoque des dommages à l'environnement, des coûts externes (externalités) sont générés, entraînant la perte des avantages potentiels de l'utilisation des eaux usées. Un argument économique qui milite en faveur de l'amélioration de la gestion des eaux usées est qu'il est possible de réduire au minimum les répercussions négatives qu'elles peuvent entraîner et de maximiser les bénéfices qu'elles peuvent générer. Si les eaux usées sont reconnues comme un bien économique, les eaux usées convenablement traitées peuvent avoir une valeur positive tant pour ceux qui les produisent que pour ceux qui les consomment (PNUE, 2015b).

## 4.3 Collecte et traitement des eaux usées

Alors que les possibilités d'amélioration des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées sont examinées au chapitre 15, cette section décrit les procédés de base d'un point de vue plus technique. Il existe principalement deux types de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées :

- Les systèmes de traitement hors site, dans lesquels les déchets sont transportés par l'intermédiaire d'un réseau d'assainissement vers une usine de traitement ou un site d'élimination.
- Les systèmes de traitement sur place, dans lesquels les déchets sont accumulés dans une fosse ou une fosse septique. Cette fosse peut être périodiquement vidée ou une nouvelle fosse/fosse septique peut être creusée ailleurs. Certains systèmes sur place ont des puisards qui laissent l'eau partiellement traitée provenant des fosses septiques s'infiltrer dans le sol (les systèmes anciens et surchargés constituent une cause majeure de pollution dans certaines régions). Dans le cas de la vidange, les déchets sont transportés pour être traités ou éliminés. Les systèmes de traitement sur place peuvent également inclure des systèmes de réseau d'assainissement à petite échelle qui convoient les eaux usées vers des usines de traitement situées à proximité.

Les eaux usées générées dans les industries peuvent être traitées sur place ou rejetées dans les systèmes municipaux, mais pour ce faire, il faut au préalable obtenir les autorisations de déversement et respecter les normes de qualité. Si les eaux usées générées dans le secteur agricole (par exemple la production de bétail, les serres) sont collectées et traitées, elles peuvent être utilisées au sein de l'établissement aux fins d'irrigation ou à d'autres fins.

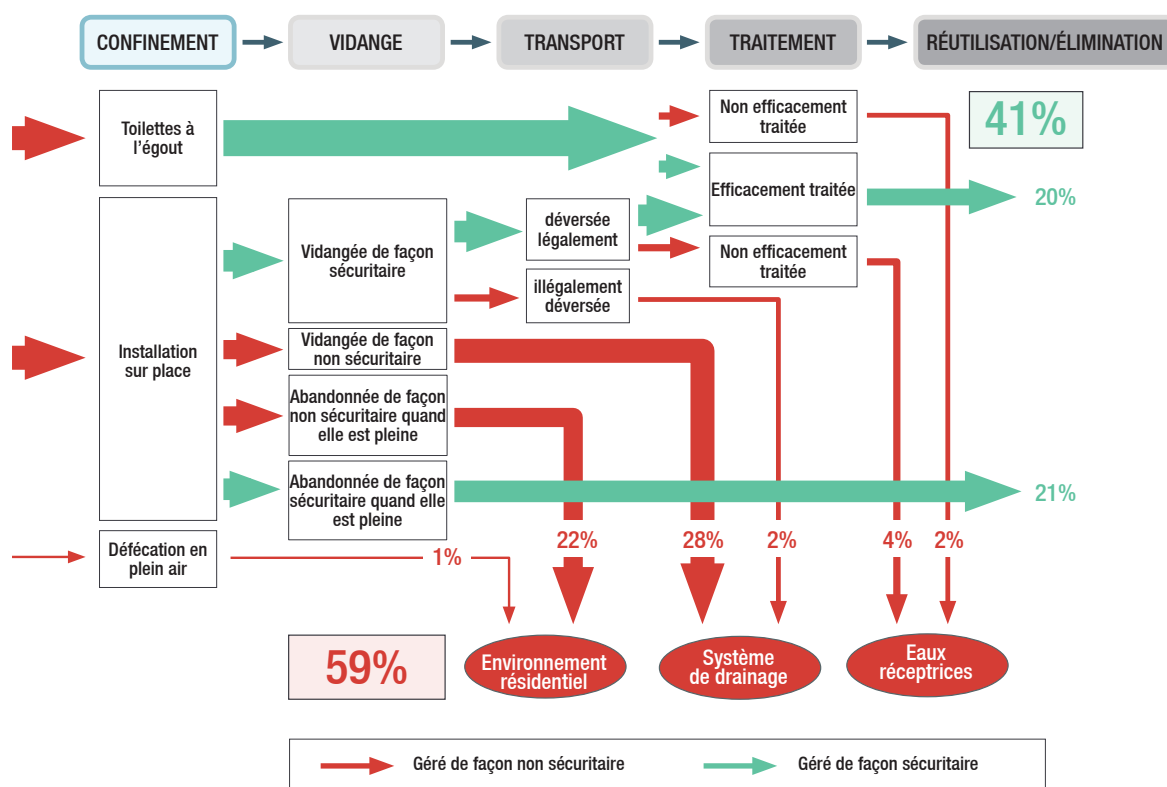
Les figures 4.4 et 4.5 présentent des systèmes de gestion des eaux usées à Kampala (Ouganda) et à Dhaka (Bangladesh) respectivement, illustrant à quel point ils peuvent différer d'un pays à l'autre. Les illustrations révèlent aussi l'urgente nécessité d'améliorer l'efficacité des systèmes de gestion des eaux usées afin d'accroître la proportion des eaux usées gérées en toute sécurité.

### 4.3.1 Collecte des eaux usées

Le réseau d'assainissement utilisé pour le transport des eaux usées peut être séparé ou unitaire. Dans les systèmes séparés, différents ensembles de tuyaux sont utilisés pour transporter les eaux d'égout et les eaux de ruissellement urbain, tandis que dans

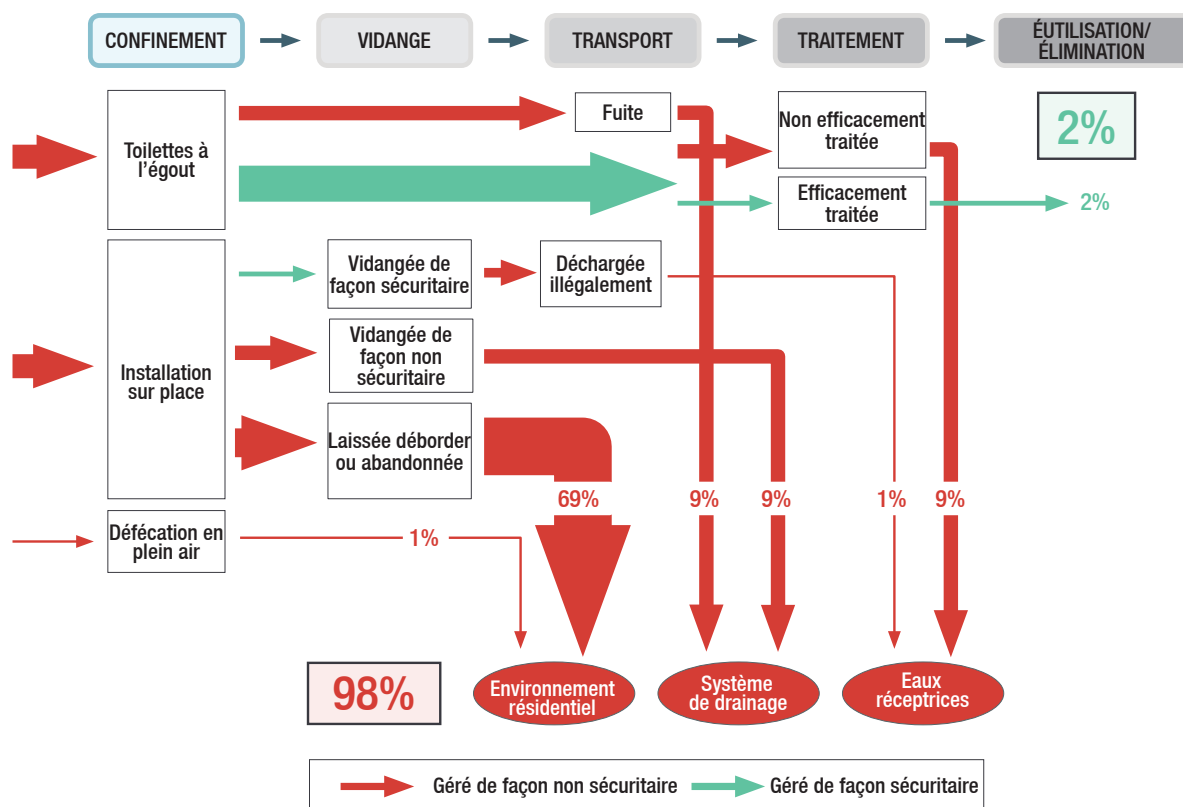


Figure 4.4 Système de gestion de l'eau à Kampala (Ouganda)



Source : Peal et al. (2014, fig. 6, p. 571).

Figure 4.5 Système de gestion de l'eau à Dacca (Bangladesh)



Source : Peal et al. (2014, fig. 4, p. 570).

les systèmes unitaires les deux flux sont transportés ensemble. Lorsqu'ils sont correctement installés, exploités et contrôlés, les systèmes séparés devraient réduire la quantité d'eaux usées à traiter, afin d'éviter les débordements et de traiter plus efficacement des volumes périodiques et potentiellement importants d'eau de ruissellement urbain survenant en condition d'orage. Toutefois, les égouts séparés ne fonctionnent pas toujours aussi efficacement que prévu, par exemple lorsque des contrôles insuffisants favorisent des raccordements illégaux d'égouts aux conduites de transport des eaux de ruissellement.

Le point de chute d'un réseau d'assainissement doit être une usine de traitement, qui vise à éliminer les contaminants des eaux usées afin qu'elles puissent être soit utilisées à nouveau (traitement adapté à l'usage prévu) soit retournées au cycle de l'eau avec un minimum d'impact sur l'environnement.

Le traitement des eaux usées peut s'effectuer suivant une approche centralisée ou décentralisée. Dans les systèmes centralisés, les eaux usées sont collectées auprès d'un grand nombre d'utilisateurs, par exemple une région urbaine, et traitées sur un ou plusieurs sites. Les frais de collecte représentent plus de 60 % du budget total de la gestion des eaux usées dans un système centralisé, en particulier dans les collectivités à faible densité de population (Massoud et al., 2009).

Les systèmes décentralisés ont recours à une combinaison entre le système de traitement des eaux usées sur place et le système de groupes, et sont souvent utilisés pour les maisons individuelles, les communautés dispersées et à faible densité, et les zones rurales. Quoique les systèmes de traitement décentralisés permettent souvent de réduire les coûts de collecte, ils ne peuvent pas fournir le même niveau de prestations et nécessitent toujours un niveau d'exploitation et d'entretien aussi efficace que dans les systèmes centralisés.

#### 4.3.2 Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées comprend une combinaison de mesures physiques, chimiques et biologiques ayant pour finalité l'élimination des constituants des eaux usées.

Les processus physiques permettent l'élimination de substances par l'utilisation de forces naturelles (c'est-à-dire la gravité), ainsi que des barrières physiques, telles que les filtres et les membranes ou rayons ultraviolets (UV), qui sont principalement utilisés pour la désinfection. L'utilisation de membranes augmente en raison de la grande qualité des effluents après le traitement et de l'élimination efficace des micropolluants organiques, qu'ils soient issus des pesticides, des produits pharmaceutiques ou des produits de soins personnels (Liu et al., 2009).

### ENCADRÉ 4.3 ÉVALUATION DES RISQUES DANS LA GESTION DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Un système de traitement des eaux usées géré constitue souvent une longue chaîne multidimensionnelle de composants interconnectés (tuyaux, pompes, installations de traitement, etc.). L'évaluation et la gestion des risques impliqués par ces composants nécessitent des techniques semblables à celles utilisées dans les évaluations d'impact environnemental, les évaluations de santé et sécurité et la gestion des actifs. L'objectif est d'identifier les risques potentiels (qui peuvent être classés selon la nature, la gravité, la probabilité, les conséquences, etc.), et mettre en œuvre des mesures de contrôle pour chacun d'eux.

Un processus dit de « suivi du flux » est généralement une bonne méthode d'action. Il commence par un inventaire du type de polluants (composition physique/chimique/bactériologique, etc.), leur concentration, et leur fréquence probable de leur production/rejet, ce qui peut être influencé par les conditions météorologiques et le comportement du pollueur. Cette étape est essentielle pour identifier et prédire les impacts et répercussions tout au long de la chaîne de composants.

Chaque maillon de la chaîne (actifs et procédés) doit ensuite être examiné afin de déterminer comment il devrait fonctionner, comment il pourrait dysfonctionner, comment il pourrait interagir avec le polluant, l'impact éventuel de la défaillance, le temps nécessaire pour résoudre un dysfonctionnement, et ainsi de suite. Certains dysfonctionnements peuvent survenir en raison d'interactions entre les polluants et l'infrastructure. Par exemple, de nombreux polluants peuvent entraîner la corrosion des tuyaux et des équipements ou bloquer et boucher les pompes. D'autres peuvent découler d'événements « externes », tels qu'une défaillance électrique, des dommages causés par la circulation ou le vandalisme.

Il y existe également un nombre considérable de risques pour la santé et la sécurité pouvant affecter aussi bien le personnel opérationnel que le grand public. Ceux-ci vont des risques de noyade au rejet de gaz dangereux, en passant par les blessures corporelles et les maladies à longue durée. Au bout de la chaîne se trouvent les points d'évacuation, au-delà desquels la sensibilité des utilisateurs en aval, soit l'environnement naturel, soit d'autres usagers de l'eau, doit également être évaluée. L'efficacité et l'image de la gestion des eaux usées peuvent être gravement affectées si les intérêts des utilisateurs en aval ne sont pas correctement pris en compte dans le processus d'évaluation des risques.

Pour mener à bien un processus d'évaluation efficace des risques, plusieurs compétences différentes et complémentaires sont nécessaires.

*Contribution de Jack Moss (AquaFed).*

**Tableau 4.2** Quelques types de systèmes de traitement des eaux usées, leurs avantages et leurs inconvénients

| Type                                                                                         | Type d'eaux usées                                                                                                                                                                                                                                                            | Avantages                                                                                                                                                                                                                                         | Inconvénients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Composants éliminés                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Systèmes septiques                                                                           | Eaux usées domestiques                                                                                                                                                                                                                                                       | Simple, robuste, entretien facile, économie d'espace                                                                                                                                                                                              | Faible efficacité de traitement, nécessité d'un traitement secondaire, effluent pas inodore. Le contenu doit être retiré à intervalles réguliers                                                                                                                                                                                                     | DCO, DBO, matières en suspension totales, graisse                                                                                                                                                                |
| Toilettes à compostage                                                                       | Excréments humains, papier toilette, additifs de carbone, déchets alimentaires                                                                                                                                                                                               | Réduire la consommation de déchets et favoriser le recyclage des nutriments (par exemple l'utilisation des boues qui en résultent dans l'agriculture)                                                                                             | Besoin d'une conception et d'une maintenance appropriées afin de protéger l'environnement et la santé humaine                                                                                                                                                                                                                                        | Volume réduit de 10 à 30 % ; pathogènes                                                                                                                                                                          |
| Filtre anaérobie                                                                             | Eaux usées domestiques et industrielles stabilisées de faible rapport DCO/ DBO                                                                                                                                                                                               | Simple et assez durable ; s'il est bien construit et que les eaux usées sont convenablement prétraitées, il offre une efficacité de traitement élevée ; occupe peu d'espace                                                                       | Le matériau du filtre peut être onéreux, le filtre peut s'encrasser, les effluents ne sont pas inodores                                                                                                                                                                                                                                              | DBO, matières dissoutes totales, matières en suspension totales                                                                                                                                                  |
| Traitement anaérobie (par exemple biodigester, UASB, etc.)                                   | Excréments humains, déchets animaux et agricoles                                                                                                                                                                                                                             | Recyclage de la ressource : le gaz produit peut être utilisé pour la production d'électricité, la cuisine et l'éclairage                                                                                                                          | Exploitation et entretien complexes ; fuite potentielle de CH <sub>4</sub> ; risque de blocage du réservoir du digesteur par des solides (réduisant son efficacité) ; potentiel limité pour l'élimination des nutriments                                                                                                                             | DCO, DBO, matières en suspension totales, graisse                                                                                                                                                                |
| Étangs de stabilisation<br>Étangs de maturation anaérobie, facultatifs                       | Eaux usées domestiques, industrielles et agricoles, système approprié pour les petites ou moyennes villes                                                                                                                                                                    | Les étangs de maturation peuvent assurer une bonne élimination des bactéries. La boue doit être éliminée à intervalles réguliers, faute de quoi il peut y avoir de graves conséquences. Le biogaz peut être récupéré en tant que source d'énergie | Nécessite de vastes étendues de terres ; parfois une forte DBO et un volume élevé de matières en suspension sont présents dans les effluents à cause des algues, mais cela est relativement inoffensif. Le processus est parfois considéré comme adapté seulement aux climats chauds, mais il peut être utilisé dans des climats tempérés également. | DBO, matières en suspension, AT, PT                                                                                                                                                                              |
| Étangs de stabilisation des eaux usées à base de lentilles d'eau                             | Eaux usées domestiques et agricoles                                                                                                                                                                                                                                          | Pas de risque d'encrassement, taux élevés d'élimination de nutriments                                                                                                                                                                             | Nécessite de vastes étendues de terres, nécessite des récoltes constantes ; inadapté aux régions très venteuses.                                                                                                                                                                                                                                     | DBO, matières en suspension, AT, PT, métaux                                                                                                                                                                      |
| Zones humides artificielles                                                                  | Eaux usées domestiques et agricoles, petites communautés, traitement tertiaire pour les industries                                                                                                                                                                           | Demande en énergie faible ou nulle, coûts de maintenance faibles, esthétique, valeur commerciale et pour l'habitat                                                                                                                                | Nécessite de vastes étendues de terres, possibilité d'encrassement du système                                                                                                                                                                                                                                                                        | Matières en suspension totales ; DCO ; AT, PT                                                                                                                                                                    |
| Traitement biologique aérobie (par exemple les boues activées)                               | Eaux usées domestiques et agricoles.<br><br>Ses aérateurs en acier inoxydable résistent à la corrosion des eaux usées, ce qui les rend convenables pour l'industrie des usines de pâte à papier et les papeteries, l'industrie chimique et d'autres environnements robustes. | Bon niveau d'élimination de DBO, et l'usine peut être exploitée pour faciliter l'élimination de l'azote et du phosphore.<br><br>Rapide et économique par rapport à d'autres méthodes, inodore.                                                    | Exigences de maintenance élevées, inefficacité en eau profonde (par conséquent, les bassins sont généralement peu profonds) et par temps de gel.<br><br>Élimination limitée des charges bactériennes et forte production de boues.                                                                                                                   | DBO, matières en suspension, AT, PT,                                                                                                                                                                             |
| Système de membranes<br><br>Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse | Eaux usées stabilisées, peuvent être utilisées en combinaison avec les processus biologiques (par exemple BRM et MBBR)                                                                                                                                                       | Processus qui ferment le cycle de l'eau et produisent une eau de haute pureté pour réutilisation.                                                                                                                                                 | Coûts élevés et besoins élevés en termes d'exploitation, d'entretien et de consommation d'énergie.                                                                                                                                                                                                                                                   | La microfiltration et l'ultrafiltration éliminent tous les agents biologiques et les macromolécules. La nanofiltration élimine les molécules organiques simples. L'osmose inverse élimine les ions inorganiques. |

**DBO** Demande biochimique en oxygène - **DCO** Demande chimique en oxygène - **MBBR** Réacteur à biofilm à lit mobile - **MBR** Bioréacteur à membrane - **SS** matières solides en suspension - **AT** Azote total - **PT** Phosphore total - **UASB** Upflow anaerobic sludge blanket (refoulement anaérobie de boue en nappe)

Source : compilé par Birguy M. Lamizana-Diallo (PNUE) et Angela Ortigara Renata Cordeiro (WWAP), sur la base des données de l'OMS (2006) et d'ONU-Eau (2015a).



## **Les polluants émergents sont rarement contrôlés ou surveillés et des recherches plus poussées sont nécessaires pour évaluer leur impact sur la santé humaine et l'environnement**

Les systèmes à membrane sont caractérisés par une forte consommation d'énergie et des niveaux élevés d'exploitation et d'entretien (Visvanathan et al., 2000).

Des procédés chimiques sont souvent utilisés pour la désinfection et l'élimination des métaux lourds. Le traitement primaire chimiquement assisté, par exemple à l'aide de sels ferriques ou de polyélectrolytes, peut éliminer la DBO et les matières solides, mais la boue produite est souvent difficile à traiter et éliminer (ONU-Eau, 2015a). L'oxydation chimiquement avancée a été présentée comme permettant d'éliminer les perturbateurs endocriniens (Liu et al., 2009).

Les processus biologiques dans le traitement des eaux usées reproduisent la dégradation qui se produit naturellement dans les fleuves, lacs et cours d'eau. Ces processus sont utilisés dans les usines de traitement des eaux usées où des réacteurs biologiques sont conçus pour stimuler une dégradation biochimique dans des conditions soigneusement contrôlées, favorisant par conséquent l'élimination des polluants et la stabilisation des boues.

Les processus qui se déroulent dans les bioréacteurs peuvent être aérobies ou anaérobies. Le premier cas nécessite souvent plus d'énergie afin de maintenir les conditions aérobies à l'intérieur du réacteur, et les déchets organiques sont convertis en biomasse (boue) et dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Toutefois, ce procédé prévient la formation de méthane (CH<sub>4</sub>), qui a un potentiel de réchauffement climatique supérieur à celui du CO<sub>2</sub> (Cakir et Stenstrom, 2005). Les procédés de traitement anaérobie nécessitent par contre généralement moins d'énergie, produisent moins de boue et génèrent du méthane, mais celui-ci peut être capturé et utilisé comme source d'énergie.

Les processus physiques, chimiques et biologiques sont combinés pour obtenir différents « niveaux » d'eaux usées, à savoir les niveaux préliminaire, primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire (voir le lexique pour une description plus détaillée).

La sélection de technologies plus appropriées est fonction du type de composants, de la charge de pollution, de l'utilisation envisagée des eaux usées traitées et de l'accessibilité en termes de coût. Le tableau 4.2 présente quelques exemples de technologies, le type d'eaux usées pour lesquelles elles sont généralement utilisées, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Les boues d'épuration constituent l'un des sous-produits du traitement des eaux usées. Les boues produites sont riches en nutriments et matières organiques, ce qui en fait un excellent conditionneur du sol et engrais (voir chapitre 16). Dans bien des cas cependant, l'utilité des boues d'épuration n'est pas exploitée en raison des préoccupations concernant les agents pathogènes, les métaux lourds et d'autres composés qu'elles peuvent contenir. Entre autres sous-produits utiles provenant des eaux usées, citons le biogaz (c'est-à-dire le méthane) et la chaleur, qui peuvent être récupérés pour toute utilisation bénéfique, soit à l'usine de traitement soit dans la communauté voisine.

La gestion et l'exploitation des systèmes de traitement des eaux usées constituent une activité complexe qui peut bénéficier d'une approche d'évaluation des risques destinée à analyser la chaîne des éléments qui composent le système. De telles évaluations peuvent aider à assurer leur bon fonctionnement aux niveaux d'efficacité escomptés, et mettre en exergue les maillons faibles de la chaîne susceptibles d'entraîner des problèmes de santé et de sécurité (voir encadré 4.4).

## **4.4 Besoins en données et informations**

Les données sur la collecte et le traitement des eaux usées sont rares, en particulier (mais pas seulement) dans les pays en développement. Selon Sato et al. (2013), seulement 55 des 181 pays analysés disposaient de statistiques fiables sur la production, le traitement et l'utilisation des eaux usées, 69 pays disposaient de données sur un ou deux aspects, et 57 pays ne disposaient d'aucune donnée. En outre, les données provenant d'environ deux tiers (63 %) des pays de la région dataient de plus de cinq ans. La principale base de données de la FAO, ACQUASTAT, dispose d'une section sur les eaux usées municipales, qui contient des informations sur les eaux usées, sous les rubriques « ressources en eau » et « utilisation de l'eau » de chaque profil de pays. Toutefois, il se peut que certaines de ces données aient également plus de cinq ans.



Le principal défi lié à la collecte de données se rapporte à la nécessité de produire des données à l'échelon national, de sorte qu'elles soient suffisamment détaillées, cohérentes et comparables avec celles d'autres pays.

L'enquête GLAAS, une initiative d'ONU-Eau mise en œuvre par l'OMS, fournit des profils de pays sur l'assainissement et la couverture en eau potable. L'enquête GLAAS contient également des informations sur des sujets liés à la gouvernance, la surveillance des données liées à l'eau, et les ressources humaines. À partir du cycle de rapports 2016/2017, le financement sera également inclus, et pourrait dévoiler des renseignements supplémentaires sur certains aspects de la gestion des eaux usées.

La Division de statistique des Nations unies (DSNU) est responsable de l'élaboration des principes fondamentaux des statistiques officielles en vue d'orienter les travaux des agences statistiques nationales. En 2012, elle a adopté le Système de comptabilité économique et environnementale - Cadre central (SEEA-CF), qui comprend le système de comptabilité économique et environnementale (SEEA-Eau). SEEA-Eau propose un cadre conceptuel pour comprendre les interactions entre l'économie et l'environnement, et se penche sur les besoins en données sur les ressources en eau (DSNU, 2012). SEEA-Eau comprend des tableaux normalisés devant être remplis par les pays, et portant sur les dépenses financières de la gestion des eaux usées, y compris la mesure du flux des eaux usées au sein de l'économie.

D'autres efforts sont également déployés au niveau mondial pour améliorer la collecte de données relatives aux eaux usées au niveau régional. L'OCDE et Eurostat ont mené une

étude commune sur les eaux intérieures qui comportait des questions sur la capacité des usines de traitement des eaux usées, et la production de boues et d'émanations de produits chimiques provenant de l'industrie, l'agriculture et les établissements humains (Eurostat, 2014). La DSNU et le PNUE organisent une campagne biennale de collecte de données environnementales dans tous les pays, à l'exception de ceux qui sont couverts par l'enquête conjointe OCDE/Eurostat. L'enquête DSNU/PNUE enregistre des statistiques sur les réserves renouvelables d'eau douce, le prélèvement et l'utilisation de l'eau douce, la production et le traitement des eaux usées, et la population bénéficiant du traitement des eaux usées (DSNU, s.d.). Les données sur les caractéristiques générales et la qualité des déchets industriels et des eaux usées sont disponibles dans les Registres des rejets et transferts de polluants (RRTP) des différents pays (voir chapitre 14).

Au-delà des informations sur la production, le traitement et l'utilisation des eaux usées, un examen de la documentation relative à la gestion des eaux usées par l'ONU-Eau (2015a) a révélé l'existence d'autres lacunes pertinentes dans les données, y compris les informations sur l'état des infrastructures de traitement des eaux usées existantes, les performances du traitement des eaux usées, le sort des boues fécales, ainsi que le volume, la qualité et la localisation des eaux usées utilisées pour l'irrigation. Un ensemble affiné de données mondiales pour la production des eaux usées est en cours d'élaboration par AQUASTAT (s.d.a.).

# DEUXIÈME PARTIE

## AXES THÉMATIQUES

Chapitre 5 | Eaux usées  
municipales et urbaines

Chapitre 6 | Industrie

Chapitre 7 | Agriculture

Chapitre 8 | Écosystèmes





# CHAPITRE 5

ONU-Habitat | Graham Alabaster, Andre Dzikus et Pireh Otieno

# EAUX USÉES MUNICIPALES ET URBAINES



Eaux usées dans le Canal de Klong Ong Ang à Bangkok (Thaïlande)

Ce chapitre porte sur les sources et les effets des eaux usées municipales et urbaines, en mettant en lumière les perspectives d'avenir en matière de production des eaux usées. En outre, il présente les possibilités de réutilisation et de recyclage de l'eau.

Les eaux usées municipales proviennent de sources domestiques, industrielles, commerciales et institutionnelles au sein d'un établissement humain ou d'une communauté donnés. Les eaux usées urbaines comprennent aussi bien les eaux usées municipales que les eaux de ruissellement urbain.

Étant donné que la production des eaux usées urbaines et municipales est fortement tributaire de la forme et de la fonction des systèmes urbains, les modèles d'urbanisation actuels et futurs doivent être examinés de manière critique en vue d'élaborer des approches plus durables de gestion des eaux usées au cours des décennies à venir.

La figure 5.1 présente une ventilation de la couverture de l'assainissement par région et donc de la collecte formelle d'eaux usées. De toute évidence, les égouts destinés à la collecte des eaux usées constituent le choix privilégié pour une grande partie du monde développé, en dépit de l'utilisation des services sur place dans de nombreuses zones rurales et dans les secteurs sujets à une urbanisation incontrôlée (voir chapitre 15).

## 5.1 L'urbanisation et son impact sur la production d'eaux usées

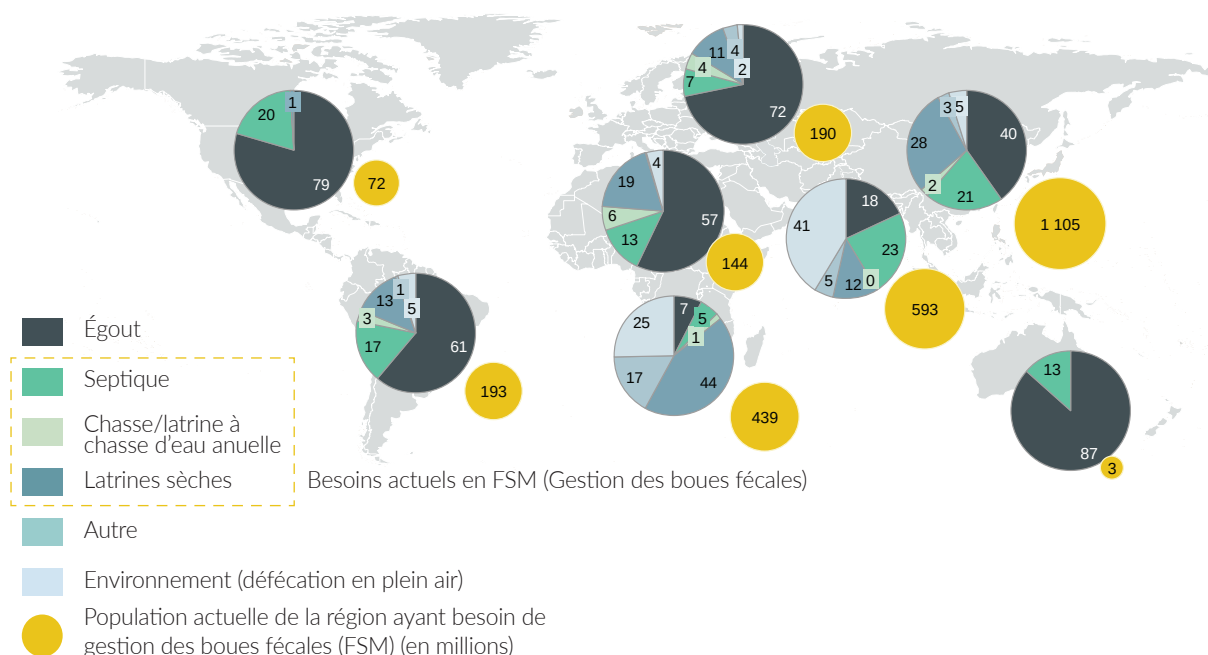
Les zones urbaines du monde entier font face à d'importants défis. L'accélération de la croissance urbaine, l'évolution des pratiques familiales et professionnelles et l'expansion des établissements

humains informels mettront de plus en plus à mal la fourniture de services. Cette situation est aggravée par l'impact des événements extrêmes, des changements climatiques et des migrations dans les zones en conflit. L'évolution des modèles d'urbanisation a entraîné plus d'inégalités, les pauvres de certaines régions développées faisant face aux mêmes défis que ceux provenant des régions en développement. En 2030, la demande mondiale d'énergie et de ressources en eau devrait croître de 40 % et 50 % respectivement (ONU-Habitat, 2016). Cette croissance sera enregistrée pour l'essentiel dans les villes, ce qui exigera de nouvelles approches de gestion des eaux usées. Dans le même temps, la gestion des eaux usées peut également fournir certaines réponses à d'autres défis, notamment la production alimentaire et le développement industriel.

## 5.2 Formes urbaines

La définition des zones rurales et urbaines est le plus souvent fondée sur des définitions techniques nationales liées aux limites géographiques plutôt qu'à la densité de population ou d'autres caractéristiques fondamentales. Toutefois, pour comprendre la production des eaux usées municipales, il est nécessaire d'envisager une autre analyse du concept « urbain », étant donné que différentes formes urbaines non seulement produisent des eaux usées de différentes façons, mais aussi guident les choix potentiels de collecte, de traitement et d'utilisation des eaux usées (voir tableau 5.1). En se

**Figure 5.1** Pourcentage de la population desservie par les différents types de systèmes d'assainissement



Source : Cairns-Smith et al. (2014, fig. 8, p. 25, sur la base des données de l'OMS/UNICEF JMP). Avec la permission du Boston Consulting Group.



fondant sur un examen des formes urbaines types, les typologies suivantes couvrent la plupart des situations dans les pays développés et les pays en développement :

- Les **grands centres urbains** comprennent les mégapoles, les zones urbaines ayant un quartier des affaires distinct et des banlieues bien développées avec différents niveaux de densité de population qui diminuent progressivement à mesure que l'on s'éloigne du quartier des affaires. Le grand centre peut être relié (ou non) à de petits centres satellites par des corridors de transport. Ces villes ont souvent de vastes réseaux d'égout, mais certaines d'entre elles, comme Lagos au Nigéria, sont mal desservies par les réseaux d'égouts (voir encadré 5.1).
- Les **grands centres urbains résultant d'agglomérations**, où deux ou plusieurs centres urbains distincts croissent progressivement et voient leur densité de population augmenter, jusqu'à ce qu'ils fusionnent plus ou moins en une seule zone métropolitaine. Ces régions disposent de vastes réseaux d'égouts dans les sections développées de chacun des anciens centres urbains, qui peuvent s'être constitués de différentes manières, et ont souvent des installations de traitement et des administrations municipales distinctes. Ces types de centres urbains disposent également de vastes zones non desservies par le réseau d'égouts. C'est le cas, par exemple, de l'agglomération Accra-Tema au Ghana ou de l'agglomération de plus petits centres dans la région métropolitaine de Manille.
- Les **petits centres urbains** sont généralement des villes qui ont un petit quartier des affaires, éventuellement certains petits satellites et une expansion linéaire radiale le long des principaux axes. Ces plus petits centres urbains ont généralement des réseaux d'égouts très limités, basés essentiellement sur l'assainissement sur place. Ils peuvent être situés physiquement près d'autres centres, mais ils ont des administrations municipales différentes, et donc une responsabilité institutionnelle distincte.
- Les **grands villages et les petites villes** sont généralement assez compacts, mais diffèrent des centres urbains par le fait qu'ils connaissent une faible expansion à la périphérie. Il peut également s'agir d'établissements humains qui se sont développés autour d'activités industrielles ou commerciales. C'est le cas par exemple des campus universitaires, des aéroports et des mines.
- Les **zones rurales** sont généralement presque entièrement desservies par les systèmes de traitement sur place, sans aucun système d'égout formel. Il peut y être pratiqué un certain degré de gestion des eaux de ruissellement urbain.

#### ENCADRÉ 5.1 ÉVACUATION DES DÉCHETS ET DES EAUX USÉES À LAGOS AU NIGÉRIA

Bien que l'État de Lagos génère 1,5 million de m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour (environ 550 millions de m<sup>3</sup> par an), la mégapole ne dispose pas de système d'égouts centralisé. Moins de 2 % de la population est desservie par des usines de traitement des eaux usées hors site, et seules les eaux usées provenant des toilettes sont raccordées à des fosses septiques et des systèmes de puisards. D'autres déchets liquides des ménages sont directement rejetés dans les caniveaux qui sont pour la plupart ouverts, devant les maisons ou dans les rues. Par la suite, les eaux usées s'infiltrent ou sont entraînées dans les plans d'eau par les eaux de pluie. Les systèmes de fosses septiques et les systèmes de puisards utilisés dans la collecte des eaux usées provenant des toilettes contaminent et polluent souvent les eaux souterraines peu profondes, qui constituent une source vitale d'eau pour la plupart des résidents à revenu faible et intermédiaire. En outre, il n'existe pas d'usine de traitement des boues de fosses septiques dans la mégapole et les boues des fosses septiques non traitées sont principalement évacuées dans la lagune de Lagos, en particulier dans des zones telles qu'Iddo, Makoko, Ajegunle, et d'autres régions. La contamination fécale du système de distribution d'eau de la mégapole et de l'environnement en raison de la mauvaise gestion des eaux usées constitue une préoccupation majeure pour la santé. Une combinaison de négligence officielle, de corruption et d'extrême pauvreté, associée à une croissance démographique rapide et largement incontrôlée a entraîné la dégradation des infrastructures existantes de Lagos. Avec une population estimée actuellement à 18 millions de personnes et un taux de croissance annuel de 3 %, l'État de Lagos devrait abriter plus de 23 millions de personnes d'ici à l'an 2020. Des efforts concertés sont nécessaires de toute urgence pour réduire davantage la pollution des ressources en eau.

Source : Major et al. (2011) et NLE (2012).

La classification de chaque centre est fonction de la région. En Chine, par exemple, un centre urbain ayant une population de cinq millions d'habitants pourrait être considéré comme une « petite » ville. En outre, chacune des catégories ci-dessus pourrait inclure des populations des bidonvilles. La proportion de bidonvilles tend à être plus grande dans les grandes villes, en raison de l'augmentation des opportunités de travail et de la recherche de logements à faible coût (ONU-Habitat, 2016), mais ils représentent également un défi pour de plus petits centres urbains.

Au cours des dix ou vingt prochaines années, les taux d'urbanisation les plus élevés s'enregistreront dans les petits centres urbains dont la population est comprise entre 500 000 et 1 million d'habitants (ONU-Habitat, 2016). Cette situation aura une incidence considérable sur la production et le potentiel tant pour le traitement décentralisé que pour l'utilisation des eaux usées.

**Tableau 5.1 Problèmes liés aux eaux usées et au drainage dans quelques types d'environnement urbain**

| Type d'environnement urbain                     | Probabilité de réseaux d'égout à grande échelle | Présence de systèmes sur site | Population vivant dans des bidonvilles | Type de traitement             | SUDS*   | Niveau de production des eaux usées | Potentiel de réutilisation/récupération |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| Grands centres urbains                          | Oui                                             | Peu probable                  | Très nombreuse                         | Centralisé / décentralisé      | Optimal | Élevé                               | Élevé                                   |
| Grands centres urbains issus des agglomérations | Oui, mais pas distinct pour chaque centre       | Peu probable                  | Considérable                           | Centralisé                     | Optimal | Élevé                               | Élevé                                   |
| Petits centres urbains                          | Peu probable                                    | Probable                      | Possible                               | Décentralisé ou fosse septique |         | Moyen                               | Élevé/localisé                          |
| Grands villages et petites villes               | Très peu probable                               | Très probable                 | Possible                               | Fosse septique                 |         | Faible                              | Possible                                |
| Zones rurales                                   | Inexistante                                     | Très probable                 | Peu probable                           | Centralisé                     |         | Négligeable                         | Négligeable/réutilisation en interne    |

\* SUDS : système durable d'évacuation des eaux urbaines

Source : auteur.

## 5.3 Sources d'eaux usées dans les systèmes municipaux et urbains

La composition des eaux usées municipales peut varier considérablement selon la gamme de contaminants libérés par les différentes combinaisons de sources domestiques, industrielles, commerciales et institutionnelles.

La forme urbaine précise et l'environnement institutionnel/législatif déterminent généralement le mode de collecte et de traitement de ces eaux usées (voir chapitres 3, 4 et 15). Toutefois, dans la plupart des pays, seule une partie des eaux usées est formellement collectée. Une grande partie, principalement issue des ménages à revenu faible, est en général rejetée dans les eaux de surface s'écoulant à proximité ou dans les canaux d'évacuation informels..

Dans les économies fortement industrialisées ou en cours de développement et lorsque l'environnement législatif est faible, ces eaux usées sont mélangées en grande partie avant leur traitement et rejet. Lorsque la norme d'assainissement est d'origine hydrique, les réseaux d'assainissement dits « unitaires » restent les plus courants. Cette approche est parfaitement logique lorsque d'importants volumes d'eau sont utilisés pour les chasses d'eau, ce qui produit des eaux d'égout diluées combinées avec quelques autres sources d'eaux usées (ONU-Habitat, nd.).

Il convient de souligner que bien souvent de grands volumes d'eaux usées légalement déversés dans des

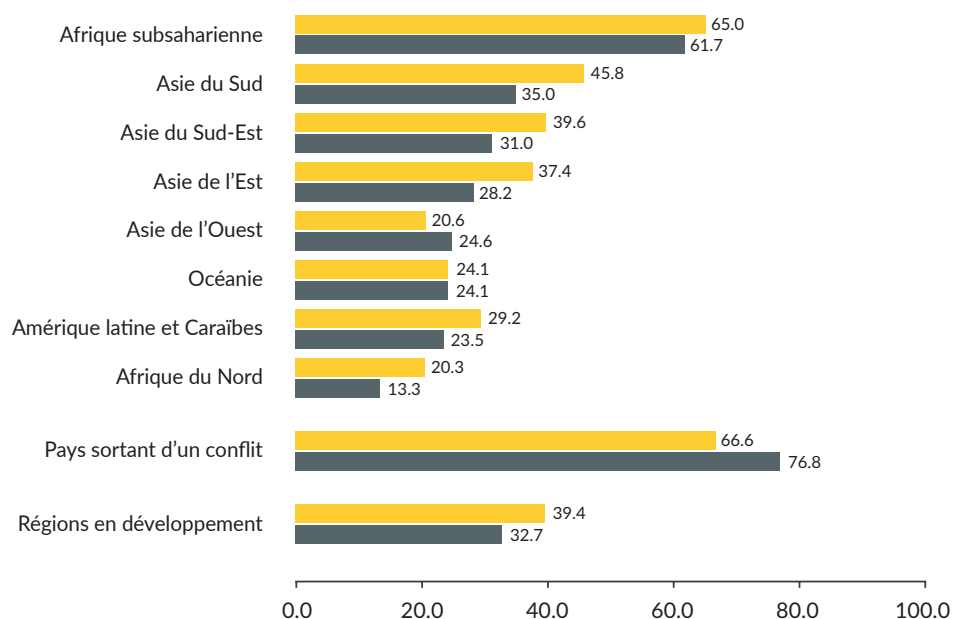
réseaux d'assainissement délabrés ou mal exploités, aussi bien unitaires que séparés, ne parviennent en réalité jamais à une usine de traitement. Une grande partie est perdue en route à la suite de ruptures de canalisations, ou termine sa course dans les écoulements d'eau de surface, polluant aussi bien les eaux souterraines que les cours d'eau de surface. Il existe également de nombreux cas de réutilisation illégale de l'eau par des communautés qui ont délibérément altéré les réseaux d'égouts collecteurs.

### 5.3.1 Assainissement et production d'eaux usées dans les bidonvilles

La production d'eaux usées constitue l'un des plus grands défis associés à la croissance des établissements humains informels (bidonvilles) dans le monde en développement. Bien que le pourcentage des habitants de bidonvilles en milieu urbain ait légèrement diminué depuis 2000 (voir figure 5.2), il y avait plus d'habitants de bidonvilles en 2012 qu'en 2000. En Afrique subsaharienne, 62 % de la population urbaine vit dans des bidonvilles. Les statistiques les plus alarmantes concernent les pays qui sortent d'un conflit et en Asie de l'Ouest, où la proportion de personnes vivant dans des bidonvilles est passée de 67 % à 77 % et de 21 % à 25 % respectivement (ONU-Habitat, 2012).

Les bidonvilles varient selon leur type, leur forme et leur densité de population. Toutefois, la plupart sont caractérisés par un manque de routes asphaltées, de logement durable, d'infrastructures d'eau et d'assainissement. Dans ces situations, des niveaux élevés de matières fécales et de déchets solides sont

**Figure 5.2** Proportion de la population urbaine vivant dans des bidonvilles, 2000-2012



Remarque : les pays qui sortent de conflits sont inclus dans les totaux, notamment l'Angola, le Cambodge, la République centrafricaine, le Tchad, la République démocratique du Congo, la Guinée-Bissau, l'Irak, la République démocratique populaire lao, le Liban, le Mozambique, la Sierra Leone, la Somalie et le Soudan.

Source : sur la base des données de l'ONU-Habitat (2012, tableau 3, p.127).

éliminés dans les fossés et canaux d'évacuation des eaux de surface. Une mauvaise élimination des déchets solides bouche les systèmes d'évacuation, entraînant des inondations. Les flux d'eaux usées et d'eaux de ruissellement urbain non récupérées présentent souvent un même niveau de toxicité et de risque pour la santé que les eaux usées s'écoulant dans les égouts. Bien que de nombreux bidonvilles s'appuient sur l'assainissement sur place, les matières fécales ne sont généralement pas contenues et des eaux usées sont toujours produites étant donné que les résidents utilisent souvent des latrines en guise de salle de bains pour les ablutions avec les « douches à seau ».

Les habitants des bidonvilles doivent souvent se contenter de toilettes publiques non raccordées au réseau d'égouts, utiliser un espace ouvert ou évacuer les matières fécales dans des sacs en polyéthylène (c'est-à-dire des toilettes volantes). Les toilettes communales ne sont pas habituellement utilisées, en raison de l'absence d'eau, d'un mauvais entretien, et de leur coût pour l'utilisateur. Selon une étude menée dans les bidonvilles de Delhi, une famille moyenne à faible revenu comprenant cinq personnes dépenserait 37 % de son revenu dans l'utilisation des toilettes communales (Sheikh, 2008). Il est particulièrement problématique pour les femmes de trouver un endroit adéquat pour aller aux toilettes, en raison des risques liés à la sécurité personnelle, la gêne et l'hygiène.

## 5.4 Composition des eaux usées urbaines et municipales

La composition précise des eaux usées varie à travers le monde et dépend de nombreux facteurs, dont l'utilisation domestique de l'eau et le niveau de développement de l'activité commerciale/l'industrialisation. Le tableau 5.2 présente les paramètres sélectionnés (ONU-Eau, 2015a). Dans les régions développées, le rapport<sup>4</sup> DBO/DCO est susceptible d'être plus faible que dans le monde en développement, en raison d'une plus grande proportion d'eaux usées industrielles. Par conséquent, l'eau sera moins adaptée au traitement biologique. Dans certaines régions, des niveaux élevés de substances inorganiques, des sulfates et l'alcalinité par exemple, peuvent affecter la convenance de l'eau à l'utilisation après traitement. Les

<sup>4</sup> La **demande biochimique en oxygène** (DBO) est la quantité d'oxygène dissout nécessaire (c'est-à-dire exigée) par les organismes biologiques aérobies pour dégrader les matières organiques présentes dans un échantillon d'eau donné à une certaine température au cours d'une période de temps spécifique.

La **demande chimique en oxygène** (DCO) est la méthode standard de mesure indirecte de la quantité de pollution (qui ne peut être oxydée biologiquement) dans un échantillon d'eau. Plus la demande chimique en oxygène est élevée, plus la quantité de pollution (principalement inorganique) est élevée dans l'échantillon d'essai.

Si le **rapport DBO/DCO** des eaux usées non traitées est supérieur ou égal à 0,5, les déchets sont considérés comme facilement traitables par des moyens biologiques. Par contre, si le **rapport** est inférieur à 0,3, alors, soit le déchet contient des composants toxiques, soit des microorganismes acclimatés peuvent être nécessaires pour sa stabilisation.

**Tableau 5.2** Composition des eaux usées brutes de certains pays

| Paramètres                     | États-Unis | France    | Maroc | Pakistan | Jordanie |
|--------------------------------|------------|-----------|-------|----------|----------|
| Demande biochimique en oxygène | 110–400    | 100–400   | 45    | 193–762  | 152      |
| Demande chimique en oxygène    | 250–1 000  | 300–1 000 | 200   | 83–103   | 386      |
| Matières en suspension         | 100–350    | 150–500   | 160   | 76–658   | nd       |
| Potasse et azote totaux        | 20–85      | 30–100    | 29    | nd       | 28       |
| Phosphore total                | 4–15       | 1–25      | 4–5   | nd       | 36       |

Source : ONU-Eau (2015a, tableau 5, p. 28, sur la base des données fournies par Hanjra et al., 2012).

**Tableau 5.3** Principaux polluants des eaux usées, leurs sources et effets

| Polluant                               | Principaux paramètres représentatifs                        | Source      |               |               |                           | Effets possibles du polluant                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                                                             | Eaux usées  |               | Ruissellement |                           |                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                        |                                                             | Domestiques | Industrielles | Urbain        | Agricole et des pâturages |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Matières en suspension                 | Matières en suspension totales                              | xxx         | ← →           | xx            | x                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Problèmes esthétiques</li><li>• Dépôts de boues</li><li>• Adsorption de polluants</li><li>• Protection d'agents pathogènes</li></ul>                                                                |
| Matières organiques biodégradables     | Demande biochimique en oxygène                              | xxx         | ← →           | xx            | x                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Consommation d'oxygène</li><li>• Mort des poissons</li><li>• Conditions septiques</li></ul>                                                                                                         |
| Nutriments                             | Azote, phosphore                                            | xxx         | ← →           | xx            | x                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Croissance excessive des algues</li><li>• Toxicité pour les poissons (ammoniac)</li><li>• Maladies chez les nouveau-nés (nitrate)</li><li>• Pollution des eaux souterraines</li></ul>               |
| Agents pathogènes                      | Coliformes                                                  | xxx         | ← →           | xx            | x                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Maladies d'origine hydrique</li></ul>                                                                                                                                                               |
| Matières organiques non biodégradables | Pesticides, certains détergents, autres                     | x           | ← →           | x             | xx                        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Toxicité (variée)</li><li>• Mousse (détergents)</li><li>• Réduction du transfert d'oxygène (détergents)</li><li>• Non biodégradabilité</li><li>• Mauvaises odeurs (p. ex. phénols)</li></ul>        |
| Métaux                                 | Éléments spécifiques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.) | x           | ← →           | x             |                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Toxicité</li><li>• Inhibition du traitement biologique des eaux d'égout</li><li>• Problèmes pour l'utilisation des boues dans l'agriculture</li><li>• Contamination des eaux souterraines</li></ul> |
| Solides dissous inorganiques           | Solides dissous totaux, conductivité                        | xx          | ← →           |               | x                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Salinité excessive – nocif pour les plantations (irrigation)</li><li>• Toxicité pour les plantes (certains ions)</li><li>• Problèmes liés à la perméabilité du sol (sodium)</li></ul>               |

x : petit    xx : moyen    xxx : haut    flèches: variable    vide : généralement pas important

Source : Von Sperling (2007, tableau 1.2, p. 7).



**Tableau 5.4 Substances figurant sur la liste rouge**

|    |                                     |
|----|-------------------------------------|
| 1  | 1,2-dichloroéthane [1,2-DCE ou EDC] |
| 2  | Aldrine                             |
| 3  | Atrazine                            |
| 4  | Azinphos-méthyl                     |
| 5  | Cadmium                             |
| 6  | Isomères de DDT                     |
| 7  | Dichlorvos                          |
| 8  | Dieldrine                           |
| 9  | Endrine                             |
| 10 | Fénitrothion                        |
| 11 | Hexachlorobenzène [HCB]             |
| 12 | Hexachlorobutadiène [HCBD]          |
| 13 | Hexachlorocyclohexane [HCH]         |
| 14 | Malathion                           |
| 15 | Mercure                             |
| 16 | Pentachlorophénol [PCP]             |
| 17 | Biphényles polychlorés [PCB]        |
| 18 | Simazine                            |
| 19 | Tributylétain [TBT]                 |
| 20 | Trichlorobenzène (TCB)              |
| 21 | Trifluraline                        |
| 22 | Triphénylétain [TPT]                |

Source : Agence pour l'environnement (2009, p. 4).

sulfates ont tendance à produire du sulfure d'hydrogène avec comme répercussion la corrosion des égouts. De même, des niveaux d'alcalinité élevés ou la dureté de l'eau sont susceptibles de causer la formation de dépôts de tartre et ont une incidence sur la convenance de l'eau à la réutilisation en guise d'eau de traitement, par exemple. Le tableau 5.4 présente certains des principaux polluants susceptibles de se retrouver dans différentes sources d'eaux usées (voir aussi tableau 4.1).

#### 5.4.1 Eaux usées provenant de sources particulièrement dangereuses

Les eaux usées provenant de sources domestiques sont en général relativement exemptes de substances dangereuses, mais on s'interroge de plus en plus sur les médicaments fréquemment utilisés qui, même à de faibles concentrations, peuvent avoir des répercussions à long terme : c'est notamment le cas de certains perturbateurs endocriniens connus (Falconer, 2006).

Les industries qui utilisent des substances figurant sur la « liste rouge » (voir tableau 5.4) dans leurs processus de production sont tenues de veiller au respect des limites de rejet autorisées, mais ce n'est souvent pas le cas. Les environnements réglementaires sont sujets à de grandes variations. Une importance particulière est accordée aux industries artisanales et aux entreprises à petite échelle, qui sont soit « autorisées » à fonctionner soit dans l'illégalité. Dans des cadres informels, des activités telles que la récupération du plomb des batteries, l'exploitation minière à petite échelle, le traitement des minéraux, le fonctionnement de garages et de stations de lavage de voitures peuvent poser de graves risques. Les informations publiées concernant ces industries informelles restent limitées.

Les petits hôpitaux et cliniques (et certains grands établissements), en particulier dans les pays en développement, rejettent des déchets médicaux dans la nature sans les traiter. L'agriculture intensive et l'usage incontrôlé d'antibiotiques dans l'élevage ont conduit à de fortes concentrations dans les eaux usées municipales lorsque ces installations ont pour point de chute des égouts municipaux. Cette situation a pour corolaire le risque supplémentaire de résistance aux antimicrobiens (RAM) (Harris et al., 2013).

Les unités agricoles intensives et les grandes décharges d'eaux pluviales qui desservent les zones industrielles ou dangereuses peuvent constituer d'autres sources ponctuelles. Le tableau 5.5 présente des estimations chiffrées de la production d'eaux usées pour des commerces et industries. Bien que cela ne figure pas dans ce tableau, il est important de noter que les eaux usées provenant des établissements de transformation des aliments et des boissons contiennent souvent elles aussi des concentrations relativement élevées de DBO. Ce type de déchets n'est pas difficile à traiter et représente une excellente occasion de récupérer de l'énergie (voir chapitre 6).

## 5.5 Forme urbaine et potentiel d'utilisation des eaux usées urbaines et municipales

Plusieurs paramètres conditionnent le potentiel d'utilisation des eaux usées urbaines et municipales : le niveau de contamination croisée des eaux usées d'une part et l'application et le lieu où elles se trouvent d'autre part. La rareté de l'eau et le coût et la disponibilité des nouvelles sources d'eau sont également des facteurs importants. De toute évidence, il est préférable de limiter le rejet de substances dangereuses dans les égouts, particulièrement celles qui rendent difficile le traitement des eaux usées. Les eaux de ruissellement urbain, par exemple, pourraient être directement réutilisées à certaines fins, mais une fois combinées avec les eaux-vannes, elles devraient faire l'objet d'un traitement supplémentaire.

## ENCADRÉ 5.2 RÉUTILISATION INDIRECTE D'EAU RENDUE POTABLE DANS LA PRATIQUE, SAN DIEGO, CALIFORNIE

À San Diego, on consomme de l'eau recyclée parce que la ville importe 85 % de son eau du nord de la Californie et du fleuve Colorado, dans lequel les communautés en amont telles que Las Vegas rejettent des eaux usées qui sont ensuite traitées pour être utilisées comme eau potable. En raison des récentes restrictions sur l'eau provenant du nord de la Californie et de la sécheresse sur le fleuve Colorado, San Diego, qui recycle les eaux usées pour l'irrigation, a investi 11,8 millions de dollars américains dans une étude sur la réutilisation indirecte d'eau rendue potable. Le projet pilote à l'usine de récupération de l'eau de North City s'est achevé en 2013. À ce moment-là, son installation de purification d'eau avancée produisait quotidiennement près de 3 800 000 litres d'eau purifiée, bien qu'aucune eau n'était envoyée dans le réservoir.

La réutilisation indirecte d'eau rendue potable est plus économique pour San Diego que le recyclage d'eaux d'égout pour l'irrigation, car l'eau d'irrigation devrait être transportée dans des tuyaux violets spéciaux afin de la séparer de l'eau potable, et que l'extension des infrastructures de tuyaux violets serait plus onéreuse que la réutilisation indirecte de l'eau. Recycler l'eau est également moins cher que dessaler l'eau de mer. Dans le Comté d'Orange, par exemple, la réutilisation indirecte d'eau rendue potable coûte 800 à 850 dollars américains pour produire suffisamment d'eau potable pour deux familles de quatre personnes pendant une année. Le dessalement d'une quantité égale d'eau de mer nécessiterait 1 200 à 1 800 dollars américains en raison de la quantité d'énergie nécessaire.

Pour faire face à sa population croissante et à l'intrusion du sel dans les eaux souterraines, le Service des eaux du Comté d'Orange en Californie a ouvert sa station de récupération de l'eau dernier cri, d'une valeur de 480 millions de dollars américains, la plus grande du pays, en janvier 2008. Son coût d'exploitation s'élève à 29 millions de dollars américains par an. Après le traitement avancé de l'eau, la moitié de l'eau recyclée est injectée dans l'aquifère pour créer une barrière contre l'intrusion d'eau salée. L'autre moitié est envoyée vers un bassin de percolation pour une filtration supplémentaire par les sols, puis après environ six mois, elle termine sa course dans les puits d'eau potable. En 2011, sa production journalière était estimée à plus de 300 millions de litres d'eau.

Source : extrait de Cho (2011).

**Tableau 5.5 Exemples de données sur les eaux usées industrielles**

| Type d'industrie                | Production d'eaux usées (m³/tonne) | Plage de fluctuation (m³/tonne) | DCO (kg/m³) | Plage de fluctuation de la DCO (kg/m³) |
|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------------------|
| Raffinage de l'alcool           | 24                                 | 16 à 32                         | 11          | 5 à 22                                 |
| Bière et malt                   | 6,3                                | 5 à 9                           | 2,9         | 2 à 7                                  |
| Café                            | nd                                 | nd                              | 9           | 3 à 15                                 |
| Produits laitiers               | 7                                  | 3 à 10                          | 2,7         | 1,5 à 5,2                              |
| Transformation du poisson       | nd                                 | 8 à 18                          | 2,5         |                                        |
| Viande et volaille              | 13                                 | 8 à 18                          | 4,1         | 2 à 7                                  |
| Substances chimiques organiques | 67                                 | 0 à 400                         | 3           | 0,8 à 5                                |
| Raffineries de pétrole          | 0,6                                | 0,3 à 1,2                       | 1,0         | 0,4 à 1,6                              |
| Plastiques et résines           | 0,6                                | 0,3 à 1,2                       | 3,7         | 0,8 à 5                                |
| Pâte et papier (combinés)       | 162                                | 85 à 240                        | 9           | 1 à 15                                 |
| Savons et détergents            | nd                                 | 1 à 5                           | nd          | 0,5 à 1,2                              |
| Production d'amidon             | 9                                  | 4 à 18                          | 10          | 1,5 à 42                               |
| Raffinage du sucre              | nd                                 | 4 à 18                          | 3,2         | 1 à 6                                  |
| Huiles végétales                | 3,1                                | 1 à 5                           | nd          | 0,5 à 1,2                              |
| Légumes, fruits et jus          | 20                                 | 7 à 35                          | 5,0         | 2 à 10                                 |
| Vin et sucre                    | 23                                 | 11 à 46                         | 1,5         | 0,7 à 3                                |

nd. : non disponible

Source : Doorn et al. (2006, Tableau 6.9, p. 622, sur la base des données de Doorn et al., 1997).

### ENCADRÉ 5.3 SYSTÈMES D'AQUACULTURE ALIMENTÉS PAR LES EAUX D'ÉGOUT DE CALCUTTA : UNE INNOVATION CENTENAIRE DES AGRICULTEURS

Il y a près d'un siècle, les agriculteurs autour de la ville de Calcutta en Inde ont développé une technique d'utilisation des eaux usées domestiques pour la culture du poisson et à d'autres fins agricoles. Cette technique est largement utilisée pour répondre à la demande croissante de poisson dans cette ville indienne densément peuplée. La technique est considérée comme unique en son genre et ce système constitue le système opérationnel le plus vaste du monde permettant de convertir des déchets en produits consommables. Les eaux usées et les eaux de ruissellement urbain de la région métropolitaine de Calcutta (plus de 13 millions d'habitants) génèrent environ 600 millions de litres d'eaux d'égout par jour. L'utilisation à grande échelle des eaux d'égout pour la culture du poisson a commencé dans les années 30. Les premiers succès enregistrés dans la culture du poisson dans les étangs d'eaux d'égout stabilisées, qui ont été utilisés comme une source d'eau pour cultiver des légumes, ont stimulé l'expansion à grande échelle de la pisciculture alimentée par les eaux d'égout. La surface couverte par ce système de culture unique a atteint un niveau record de 12 000 ha, mais a connu une forte régression ces dernières années, en raison de l'augmentation de la pression de l'urbanisation. Actuellement, la surface couverte par le système de culture alimenté par les eaux d'égout a été réduite à moins de 4 000 ha et les populations pauvres qui tirent leurs moyens de subsistance de ces zones humides ont été gravement touchées. Toutefois, même aujourd'hui, une quantité considérable de poissons consommés dans la ville de Calcutta est produite à partir de ce système. D'aucuns appellent le gouvernement à sanctuariser les zones d'aquaculture actuelles alimentées par les eaux d'égout et à les protéger de l'empiétement dû à l'expansion rapide de la population de la ville de Calcutta. En outre, 12 000 ha sont également cultivés pour la production de légumes.

Source : extrait de Nandeesh (2002, p. 28).

Les mobiles de la réutilisation de l'eau sont d'ordre législatif et principalement économique. Si les eaux usées sont disponibles à un coût inférieur ou comparable (y compris le coût du transport), elles seront privilégiées par rapport aux sources d'eau douce classiques. Dans certains pays ou régions faisant face à une pénurie de ressources en eau, la nécessité impose et favorise des niveaux élevés de réutilisation.

La réutilisation de l'eau dans l'agriculture est l'un des domaines où les potentialités sont les grandes. Elle est déjà pratiquée de façon formelle et informelle dans de nombreux pays (voir les chapitres 6 et 16). La réutilisation dans les zones périurbaines offre l'occasion de produire des aliments à proximité de la zone de consommation.

#### 5.5.1 Réutilisation d'eau rendue potable

L'utilisation d'eaux usées municipales traitées à des fins de consommation n'est pas monnaie courante, quoiqu'étant une pratique bien établie dans certaines régions (voir paragraphe 16.1.2). Les populations de certains pays, en l'occurrence l'Australie, la Namibie et Singapour, boivent déjà des eaux usées traitées, tout comme certaines populations des États-Unis, notamment en Californie, en Virginie et au Nouveau-Mexique. Elles sont généralement sans danger, mais l'opinion publique est influencée par ceux qui parlent d'une réutilisation « des toilettes au robinet » dans l'optique d'en décourager l'utilisation.

La réutilisation indirecte d'eau rendue potable, par laquelle les eaux usées traitées sont ajoutées à des sources d'eau souterraine ou de surface (où elles reçoivent un traitement supplémentaire) et finissent par servir d'eau potable, est devenue de plus en plus courante (voir encadré 5.2). Après le traitement tertiaire, l'eau est déversée dans un réservoir de stockage pour une période de six mois ou plus. Ce niveau de traitement semble apaiser les craintes du public au sujet de la

réutilisation « des toilettes au robinet ». En réalité, une grande proportion d'eaux usées traitées et non traitées finit par être déversée dans un cours d'eau et utilisée en aval comme source d'approvisionnement en eau.

#### 5.5.2 Réutilisation d'eau non potable : industrie, commerce, loisirs et agriculture périurbaine

La réutilisation locale devient plus économiquement faisable si le point de réutilisation se trouve près du point de production. Plusieurs établissements industriels et commerciaux ont besoin d'eau de traitement, et peuvent instituer de meilleures procédures d'entretien ménager afin de réduire leur dépendance vis-à-vis de la consommation d'eau et de la production d'eaux usées, ainsi que les coûts qui y sont associés. Les entreprises peuvent directement réutiliser certaines eaux usées non traitées, à condition qu'elles soient de qualité satisfaisante. Les sources d'eau de bonne qualité comprennent entre autres l'eau de refroidissement ou de chauffage, l'eau de pluie collectée des toits des industries/commerces ou des tabliers et pistes des aéroports.

La symbiose industrielle (voir chapitre 6) est souvent utilisée pour décrire les partenariats et la coopération entre deux ou plusieurs industries différentes en vue d'améliorer à la fois les performances environnementales et la compétitivité par l'échange et l'optimisation des matières mutuelles, l'énergie et les flux d'eau. Dans le cas de la réutilisation de l'eau, cette symbiose se produit souvent à l'échelle locale. Les sous-produits d'une industrie deviennent les matières premières d'une autre. De même, l'eau de refroidissement industrielle peut être utilisée pour la récupération de la chaleur ou pour la production (Industrial Symbiosis Institute, 2008). Parfois, les partenariats se partagent la gestion des services publics ou des services auxiliaires (voir encadré 6.4).

L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA, 2004) donne un bon aperçu des systèmes urbains de réutilisation qui fournissent des eaux usées partiellement traitées (adaptées à l'usage) pour divers besoins en eau non potable, dont :

- l'irrigation de jardins publics et centres de loisirs, de terrains de sport, de cours d'école et de terrains de jeu, de terre-pleins et accotements d'autoroute et des espaces verts entourant les bâtiments et édifices publics ;
- l'irrigation des espaces paysagers entourant des résidences monofamiliales et multifamiliales, le lavage général et d'autres activités d'entretien ;
- l'irrigation des espaces paysagers autour des espaces commerciaux, des bureaux et des industries ;
- l'irrigation de terrains de golf ;
- les utilisations commerciales, comme par exemple les installations de lavage de véhicules, le service de blanchisserie, le nettoyage des vitres et l'eau de gâchage pour les pesticides, les herbicides et les engrais liquides ; et
- les aménagements paysagers décoratifs et les installations aquatiques décoratives telles que les fontaines, les bassins réfléchissants et les cascades.

Dans les systèmes de distribution double, les eaux usées partiellement traitées sont fournies aux clients par le biais d'un réseau parallèle de tuyaux de distribution distinct du système de distribution d'eau potable communautaire. Le système de distribution de l'eau récupérée devient le troisième service des eaux, en plus du service des eaux usées et de l'eau potable. Le mode d'exploitation, d'entretien et de gestion des systèmes de récupération de l'eau est semblable à celui du système d'eau potable (US EPA, 2012). L'utilisation directe des eaux usées municipales traitées se pratique depuis peu, par exemple à St Petersburg en Floride, où l'eau récupérée est fournie à plusieurs immeubles résidentiels, espaces commerciaux et parcs industriels, ainsi qu'à une centrale électrique de récupération des ressources, un stade de baseball et un certain nombre d'écoles (US EPA, 2004).

Assurer aux citoyens une alimentation adéquate du point de vue nutritionnel et sanitaire pose un défi majeur. L'agriculture périurbaine offre une solution, mais nécessite un approvisionnement correct en eau. Les eaux usées municipales sont souvent (le plus souvent de façon informelle) utilisées sans traitement, ce qui entraîne de graves risques pour la santé des agriculteurs et des consommateurs. Les coutumes sociales et les régimes alimentaires permettent de se rendre compte du niveau de risque associé à cette pratique. Les étangs alimentés par les eaux usées à Calcutta en Inde (voir encadré 5.3) constituent un exemple de réutilisation directe des eaux usées.

## 5.6 Gestion des eaux de ruissellement urbain

L'adaptation aux changements climatiques vise à diminuer les risques d'inondation associés à des pluies extrêmes, mais si elle est pensée en synergie avec le développement urbain, elle peut aussi répondre à certains des problèmes associés à la gestion des eaux usées urbaines. Les villes se préoccupent de plus en plus des effets des changements climatiques, à savoir entre autres l'accroissement des risques d'inondation et l'élévation des températures, qui s'ajoutent à une demande croissante d'eau potable (State of Green, 2015).

L'eau de pluie sous forme d'eaux de ruissellement de surface peut contribuer à l'équilibre de l'eau des villes et être collectée pour créer de beaux espaces de loisirs. Le Danemark en donne un bon exemple (voir encadré 5.4), en montrant comment il est possible d'utiliser l'eau de pluie comme ressource pour créer des villes plus résilientes et plus vivables.

### ENCADRÉ 5.4 TRAITEMENT DES RUISSELLEMENTS D'EAUX PLUVIALES DE LA ZONE INDUSTRIELLE DE KOLDING AU DANEMARK

Le service local des eaux usées de la ville de Kolding était confronté au défi lié à la nécessité d'épurer les eaux de ruissellement provenant d'un secteur industriel hautement pollué pour protéger l'écosystème d'une petite rivière située à proximité. La rivière était contaminée par de l'huile et des substances dangereuses provenant de la zone industrielle où les camions étaient chargés, et divers matériaux étaient entreposés à l'extérieur sur l'aire de stockage. Pour résoudre ce problème, le service a eu recours à la solution HydroSeparator®, qui est une solution automatisée efficace destinée à améliorer la qualité de l'eau auprès de divers bénéficiaires tout en minimisant le besoin de bassins de rétention pour un coût total de propriété beaucoup plus faible. La capacité maximale de la solution HydroSeparator® a été déterminée par la nécessité d'un débit maximal de 200 l/s de rejets dans la petite rivière. Il est constitué de deux hydroséparateurs standards de 100 l/s chacun, qui peuvent fonctionner simultanément ou séparément. Aujourd'hui, l'usine fonctionne automatiquement avec de très faibles coûts d'exploitation et peut être surveillée et contrôlée par Internet ainsi qu'à travers le système SRO connecté depuis le service des eaux usées Kolding Spildevand.

Source : extrait de State of Green (2015, p. 18).



# CHAPITRE 6

ONUDI | Division de l'efficacité des ressources industrielles de l'ONUDI et John Payne, John G. Payne & Associates Ltd.

# INDUSTRIE

Canal de traitement des eaux usées dans la centrale électrique



*Ce chapitre décrit l'étendue et la nature de la production des eaux usées industrielles. Il met également en évidence des opportunités découlant de l'utilisation et du recyclage des eaux usées et de la récupération de l'énergie et des sous-produits utiles pour faire face aux problèmes liés aux ressources naturelles dans le contexte d'un développement industriel durable.*

L'aube de la révolution industrielle au XVIII<sup>e</sup> siècle dans les pays aujourd'hui développés marquait le début du dilemme de la société face au sort des eaux usées industrielles. Hier comme aujourd'hui, comme c'est si souvent le cas, elles étaient rejetées dans les cours d'eau naturels car on croyait à tort que « la solution à la pollution c'était la dilution » et que les eaux pluviales avaient un effet purgatif pour la nature.

Les pressions environnementales et sociétales ont peu à peu conduit à un mouvement en évolution constante qui a amené le secteur industriel à réduire la quantité d'eaux usées qu'il génère et à les traiter avant de les rejeter. Cette situation a mené à un changement de paradigme important, les eaux usées étant désormais considérées comme une ressource potentielle, et leur utilisation ou recyclage après un traitement approprié comme une source potentielle d'avantages économiques et financiers pour l'industrie. Ce changement de paradigme vient à son tour compléter le tableau d'ensemble de l'industrie verte, la responsabilité sociale des entreprises (RSE), l'intendance de l'eau et le développement durable, y compris les ODD et spécifiquement les cibles 6.3 et 6.a, qui portent sur les eaux usées (voir chapitre 2).

Ces considérations s'appliquent principalement aux grandes industries, dont certaines sont installées dans les pays en développement en raison de leur portée mondiale : nombreuses sont celles qui se délocalisent des pays à revenu élevé vers les marchés émergents (WWAP, s.d.). Elles ont la taille et les ressources nécessaires pour saisir les occasions qui se présentent et entrer dans l'économie circulaire. Faute d'un tel élan, les petites et moyennes entreprises (PME) et les industries informelles rejettent souvent leurs eaux usées dans les systèmes municipaux ou directement dans l'environnement. Cette situation, dans l'un ou l'autre cas crée un autre ensemble de défis et d'opportunités potentiellement perdues (voir chapitre 5).

## 6.1 Ampleur de la production des eaux usées industrielles

Étant donné que le volume des eaux usées industrielles est signalé de façon limitée et sporadique, l'ampleur réelle de cette ressource potentielle est en grande partie inconnue. À l'échelle mondiale, les données et les informations concernant le volume des eaux usées produites par le secteur industriel sont très insuffisantes. En outre, une distinction doit être faite entre le volume global des eaux usées produites et le volume réellement rejeté,

généralement inférieur en raison du recyclage. Selon une estimation (PNUE FI, 2007), le volume des eaux usées industrielles va doubler d'ici à 2025 « par rapport aux niveaux d'aujourd'hui »<sup>5</sup>

Des informations consolidées sont disponibles sur les pays développés. Dans l'Union européenne, par exemple, des données limitées montrent que la production d'eaux usées a diminué de manière générale (Eurostat, s.d.). Les données indiquent également que l'industrie manufacturière constitue le plus grand producteur d'eaux usées du secteur industriel (voir tableau 6.1). Par ailleurs, des données provenant de quelques pays indiquent que le secteur industriel est un grand pollueur, étant donné que seulement une partie des eaux usées est traitée avant d'être rejetée (voir tableau 6.2).

Le Canada donne un exemple atypique de données nationales assez détaillées (voir tableau 6.3). En effet, ce pays conduit des enquêtes biennales sur l'eau industrielle qui permettent de recueillir des données sur les secteurs des mines et de la production d'énergie thermique (voir encadré 6.1).

Statistique Canada (2014) rapporte que les industries papetières ont produit presque 40 % du volume des rejets industriels, dont près de 80 % avaient subi un traitement secondaire ou biologique, et représentaient 32 % du volume de l'eau recirculée, les métaux primaires représentant près de 50 %. Dans l'ensemble, le taux de recirculation (eau recirculée en pourcentage de la prise) était d'environ 51 %. En ce qui concerne les coûts de l'eau relatifs à l'industrie manufacturière, environ 38 % ont été consacrés au traitement des effluents et près de 10 % à la recirculation. Les centrales thermiques étaient de loin le plus gros utilisateur et responsable des rejets d'eau, dont presque 58 % ont rejoint des plans d'eau de surface sans aucun traitement. Leur taux de recirculation était faible même si le volume était environ le double de celui de l'industrie manufacturière. L'exploitation minière était quelque peu différente, avec un taux de recirculation de plus de 100 % (utilisée principalement pour la transformation) et des volumes de rejet supérieurs à la prise à cause de l'assèchement.

Tandis que de nombreuses entreprises collectent leurs données sur les eaux usées et en rendent compte conformément à la réglementation, à quelques exceptions près, il existe de toute évidence

<sup>5</sup> Cette estimation renvoie probablement à 2007, année de publication du rapport.

**Tableau 6.1 Production d'eaux usées par type d'industrie, 2011 (en millions de m³)**

|                                                    | Total de l'industrie | Mines et carrières | Industries manufacturières* | Production et distribution d'électricité (à l'exclusion de l'eau de refroidissement)** | Construction |
|----------------------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Allemagne <sup>1</sup>                             | 1 534,6              | 227,6              | 1 180,6                     | 75,4                                                                                   | 0,6          |
| Autriche <sup>1</sup>                              | 1 487,2              | nd                 | 889,6                       | 363,3                                                                                  | nd           |
| Belgique <sup>2</sup>                              | 530,0                | 42,0               | 239,9                       | 7,9                                                                                    | 0,4          |
| Bosnie-Herzégovine                                 | 9,5                  | nd                 | 9,5                         | nd                                                                                     | nd           |
| Bulgarie                                           | 153,6                | 12,5               | 91,3                        | 37,9                                                                                   | 0,6          |
| Chypre <sup>5</sup>                                | 1,9                  | nd                 | 1,9                         | 0,0                                                                                    | nd           |
| Croatie                                            | 84,7                 | 1,7                | 81,4                        | 0,5                                                                                    | nd           |
| Espagne <sup>1</sup>                               | 6 335,2              | 47,2               | 602,0                       | nd                                                                                     | nd           |
| Ex-République yougoslave de Macédoine <sup>2</sup> | 687,7                | 9,2                | 408,1                       | 251,6                                                                                  | nd           |
| Finlande                                           | nd                   | nd                 | 14,4                        | 26,5                                                                                   | 14,7         |
| Hongrie <sup>4</sup>                               | 154,3                | 17,8               | 129,7                       | 3,9                                                                                    | 0,0          |
| Lettonie <sup>3</sup>                              | 45,5                 | 5,5                | 20,2                        | 6,1                                                                                    | 1,3          |
| Lituanie                                           | 40,4                 | 0,6                | 33,9                        | 2,6                                                                                    | 0,7          |
| Pologne                                            | nd                   | 342,9              | 484,6                       | 79,8                                                                                   | 6,6          |
| Roumanie                                           | nd                   | 47,3               | nd                          | nd                                                                                     | 3,6          |
| Serbie                                             | 76,8                 | 10,3               | 36,3                        | 30,2                                                                                   | n.d.         |
| Slovaquie                                          | 192,2                | 20,5               | 163,0                       | 7,9                                                                                    | 0,1          |
| Slovénie                                           | nd                   | 0,1                | 42,8                        | nd                                                                                     | 0,1          |
| Suède <sup>1</sup>                                 | 878,0                | 26,0               | 839,0                       | 14,0                                                                                   | nd           |
| Turquie <sup>1</sup>                               | 528,7                | 41,9               | 460,8                       | 26,1                                                                                   | nd           |

nd : non disponible

<sup>1</sup> 2010

<sup>2</sup> 2009

<sup>3</sup> 2007

<sup>4</sup> 2006

<sup>5</sup> 2005

Remarques :

\*L'industrie manufacturière comprend : les produits alimentaires ; le textile ; le papier et les produits dérivés ; les produits pétroliers raffinés ; les substances et produits chimiques ; les métaux de base ; les véhicules à moteur, les remorques, semi-remorques et autres matériels de transport ; d'autres produits.

\*\*La production et distribution d'électricité comprend l'activité de fourniture d'électricité, du gaz naturel, de la vapeur, de l'eau chaude, etc. à travers une infrastructure permanente (réseau) de lignes, conduites et tuyaux.

nd : non disponible

Source : Eurostat (s.d., tableau 7). © Union européenne, 1995 - 2016.

**Tableau 6.2 Rejets d'eaux usées industrielles après traitement (en pourcentage du total des rejets), 2007-2011**

|                                       | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Allemagne                             | 46,7 | nd   | nd   | 46,5 | nd   |
| Bosnie-Herzégovine                    | 0,0  | 56,0 | 62,5 | 65,4 | 58,5 |
| Bulgarie                              | 59,7 | 57,1 | 49,6 | 50,8 | 46,8 |
| Croatie                               | 0,0  | 17,0 | 16,8 | 25,7 | 8,5  |
| Ex-République yougoslave de Macédoine | 4,4  | 25,9 | 7,2  | nd   | nd   |
| Lituanie                              | 0,0  | 73,5 | 72,5 | 60,4 | 51,8 |
| République tchèque                    | 47,7 | 44,3 | 45,7 | 52,4 | 60,2 |
| Roumanie                              | 0,0  | 12,7 | 9,7  | 14,1 | 5,6  |
| Turquie                               | 0,0  | 38,1 | nd   | 71,9 | nd   |

n.d. : non disponible

Source : Eurostat (s.d., fig. 5). © Union européenne, 1995 – 2016.

### ENCADRÉ 6.1 ENQUÊTES CANADIENNES SUR L'UTILISATION INDUSTRIELLE DE L'EAU

Trois secteurs participent à l'Enquête sur l'utilisation industrielle de l'eau du Canada : l'industrie manufacturière, l'extraction minière, et les centrales électriques à combustibles fossiles et nucléaires. Chaque secteur dispose de son propre questionnaire qui permet de recueillir des données sur le volume d'eau introduit dans l'usine, y compris des informations sur la source, l'usage, le traitement, et une éventuelle recirculation de cette eau par les utilisateurs industriels et les volumes d'eau rejetés, ainsi que le traitement de cette eau rejetée par les utilisateurs industriels. Les questionnaires sont conçus en collaboration avec les utilisateurs de données afin de répondre à leurs besoins statistiques. Les répondants ont également été consultés par le biais d'entrevues individuels afin de garantir que les informations recherchées soient disponibles et que le questionnaire puisse être rempli dans un délai raisonnable. Les données sont recueillies directement auprès des répondants à l'aide de questionnaires envoi/retour sur papier. Les envois sont effectués au cours de l'année suivant l'année de référence et sont adressés à un « gestionnaire ou coordinateur des questions environnementales ». Répondre à l'enquête est obligatoire et les répondants sont priés de retourner les questionnaires remplis dans les 30 jours suivant la réception. Une lettre expliquant l'objet de l'enquête, la date de retour et l'obligation juridique de répondre est incluse dans le dossier envoyé et des rappels par télécopie sont envoyés aux répondants dont les questionnaires n'ont pas été retournés 45 jours après l'envoi.

Les questionnaires et les guides de déclaration sont accessibles à partir du lien suivant : [www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvInstrumentList&Id=253674](http://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvInstrumentList&Id=253674)

Source : adapté de Statistique Canada (s.d.).

des lacunes flagrantes dans tous les secteurs assurant la collecte et la compilation des données à l'échelle nationale et mondiale. Il sera nécessaire de combler ces lacunes avant que la politique de gestion de l'eau ne soit en mesure d'assurer une meilleure coordination entre l'utilisation et la consommation de l'eau d'une part et la production et les rejets d'eaux usées d'autre part, ce dernier aspect étant souvent négligé.

## 6.2 Nature des eaux usées industrielles

Les données concernant les caractéristiques générales et la qualité des eaux usées industrielles sont les plus disponibles. La toxicité, la mobilité et la charge de polluants industriels ont potentiellement un impact plus important sur les ressources en eau, la santé humaine et l'environnement que les volumes d'eau réels. Cette réalité transparaît dans les registres des rejets et transferts de polluants (RRTP) (voir chapitre 14), qui contiennent des informations sur les pays développés concernant la quantité de certaines substances polluantes (au-delà de certains seuils) rejetées par les industries dans l'eau, le sol et l'atmosphère (OCDE, s.d.). Ces bases de données pourraient être analysées pour obtenir une idée générale du niveau global des ressources potentiellement récupérables parmi les nombreux contaminants indésirables.

Les activités industrielles, qui varient énormément, produisent des eaux usées caractérisées par un large spectre de polluants (voir tableau 6.4). Il existe des technologies permettant d'éliminer (ou d'extraire) ces polluants, mais dans certaines situations industrielles, leur principale limite est le coût. Elles permettent d'obtenir deux produits : les eaux usées traitées



**Tableau 6.3** Prise d'eau, rejet et recirculation dans l'industrie canadienne, 2011

|                                                                             | Total  | Fabrication | Électricité thermique (y compris nucléaire) | Mines |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|---------------------------------------------|-------|
| Prise totale                                                                | 27 600 | 3 677,5     | 23 497,2                                    | 429,2 |
| % volume total                                                              | 100    | 13,3        | 85,1                                        | 1,6   |
| Rejet total <sup>1</sup>                                                    | 26 900 | 3 226,8     | 23 082,6                                    | 587,9 |
| Pourcentage du volume total                                                 | 100    | 12,0        | 85,8                                        | 2,2   |
| <b>Traitement des rejets (%)</b>                                            |        |             |                                             |       |
| Non traité                                                                  |        | 34,0        | 57,9                                        | 43,8  |
| Primaire                                                                    |        | 17,9        | nd                                          | 47,6  |
| Secondaire                                                                  |        | 36,2        | <<1                                         | nd    |
| Tertiaire                                                                   |        | 12,0        | nd                                          | nd    |
| Recirculation                                                               | 6 000  | 1 870,0     | 3 711,2                                     | 465,1 |
| Pourcentage du volume total                                                 | 100    | 30,9        | 61,4                                        | 7,7   |
| Taux de recirculation <sup>2</sup> (exprimé en pourcentage de consommation) |        | 50,8        | 15,8                                        | 108,4 |
| <b>Utilisation de la recirculation (%)</b>                                  |        |             |                                             |       |
| Eau de procédé                                                              |        | 49,7        |                                             | 90,8  |
| Refroidissement, condensation, vapeur                                       |        | 50,0        | 98,1                                        | nd    |
| Lutte contre la pollution                                                   |        |             | 0,1                                         |       |
| Autre                                                                       |        | 0,3         | 1,7                                         | nd    |

<sup>1</sup> Le volume des rejets est supérieur au volume de la prise en raison de l'assèchement des eaux souterraines dans certaines mines.

<sup>2</sup> Taux de recirculation = Volume d'eau recirculé exprimé en pourcentage de consommation. La même eau peut quitter un sous-système et y rentrer de nouveau, ou être utilisée plusieurs fois dans un autre sous-système, ce qui produit un taux de recyclage supérieur à 100 %.

nd : non disponible

Source : Statistique Canada (2014).

et les matières récupérées. L'eau peut être recyclée dans une usine ou par une industrie apparentée, ou être simplement rejetée, la renvoyant ainsi au cycle hydrologique pour que d'autres puissent l'utiliser. Aux États-Unis, on estime que pour certains grands cours d'eau, l'eau a été utilisée et réutilisée plus de 20 fois avant d'atteindre la mer (TSG, 2014). Des matières utiles peuvent être récupérées, telles que les minéraux (phosphates) et les métaux (voir chapitre 16). L'eau de refroidissement peut fournir de la chaleur. La boue résiduelle pourrait produire du biogaz ou peut n'avoir pour seul destin que l'élimination.

## 6.3 Relever le défi des ressources

Si les eaux usées sont acceptées comme constituant un apport positif plutôt qu'un produit non désiré de l'activité industrielle devant être éliminé, alors il est logique et préférable qu'au lieu de les éliminer elles fassent l'objet d'une utilisation proactive et d'un recyclage.

### 6.3.1 Réduction et prévention de la pollution

Comme c'est le cas avec de nombreux problèmes environnementaux, la première étape consiste à prévenir ou réduire la pollution au minimum. L'objectif est de maintenir les volumes et la toxicité de la pollution au minimum dès le point d'origine. Telle est la substance même du nouveau génie industriel vert, où l'élimination de la pollution et le traitement des eaux usées sont pris en compte de l'idée à la conception s'agissant de l'exploitation et de l'entretien. Toutefois, avec les usines existantes, s'il est vrai qu'une restructuration est possible, il se peut que la réduction de la pollution soit la seule option. Il s'agit entre autres du remplacement par des matières premières plus écologiques et des produits chimiques industriels biodégradables, ainsi que la formation du personnel pour leur permettre d'identifier les problèmes de pollution et d'y remédier.

**Tableau 6.4** Contenu des eaux usées types dans certaines grandes industries

| Industrie                       | Contenu type des effluents                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pâte et papier                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Acides lignosulfoniques chlorés, acides résiniques chlorés, phénols chlorés et hydrocarbures chlorés – environ 500 différents composés organiques chlorés identifiés</li> <li>Composés colorés et composés organiques halogénés adsorbables (COHA)</li> <li>Polluants caractérisés par la DBO, la DCO, les matières en suspension, la toxicité et la couleur</li> </ul>                                                                                                                                                                            |
| Fer et acier                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eau de refroidissement contenant de l'ammoniac et du cyanure</li> <li>Produits de gazéification – benzène, naphthalène, anthracène, cyanure, ammoniacque, phénols, crésols et hydrocarbures aromatiques polycycliques</li> <li>Huiles hydrauliques, suif et particules solides</li> <li>Eau de rinçage acide et acide usé (chlorhydrique et sulfurique)</li> </ul>                                                                                                                                                                                 |
| Mines et carrières              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Boues de particules de roche</li> <li>Tensioactifs</li> <li>Huiles et huiles hydrauliques</li> <li>Minéraux indésirables, par exemple l'arsenic</li> <li>Boues contenant de très fines particules</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Industrie alimentaire           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Niveaux élevés de concentration de DBO et de matières en suspension</li> <li>DBO et pH variables en fonction des légumes, fruits ou viandes et de la saison</li> <li>Transformation des légumes – forte présence de particules, certaines matières organiques dissoutes, tensioactifs</li> <li>Viande – forte présence de matières organiques, d'antibiotiques, d'hormones de croissance, de pesticides et d'insecticides</li> <li>Cuisson – matières organiques des plantes, sel, arômes, colorants, acides, alcalis, huile et graisse</li> </ul> |
| Brassage                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>La DBO, la DCO, matières en suspension, azote, phosphore – variable en fonction des différents procédés</li> <li>pH variable à cause des agents de nettoyage acides et alcalins</li> <li>Température élevée</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Produits laitiers               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sucres dissouts, protéines, lipides et résidus d'additifs</li> <li>DBO, DCO, matières en suspension, azote et phosphore</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Substances chimiques organiques | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pesticides, produits pharmaceutiques, peintures et teintures, produits pétrochimiques, détergents, plastiques, etc.</li> <li>Matières premières, sous-produits, matières solubles ou sous forme de particules, agents de lavage et de nettoyage, solvants et produits à valeur ajoutée tels que les plastifiants</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                        |
| Textiles                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>DBO, DCO, métaux, matières solides en suspension, urée, sel, soufre, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH</li> <li>Désinfectants, biocides, résidus d'insecticides, détergents, huiles, lubrifiants, ensimage de filature, solvants usés, composés antistatiques, agents stabilisants, tensioactifs, assistants de traitement biologique, matières cationiques, couleurs</li> <li>Acidité/alcalinité élevé</li> <li>Chaleur, mousse</li> <li>Matières toxiques, déchets de nettoyage, apprêt</li> </ul>                                                |
| Énergie                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Production de combustibles fossiles – contamination provenant de puits pétroliers et gaziers et fracturation</li> <li>Eau de refroidissement chaude</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Sources : sur la base des données de IWA Publishing (s.d.) ; PNUE (2010) et Moussa (2008).

### 6.3.2 Élimination des contaminants

Les industries rejetant leurs effluents dans les systèmes municipaux ou les eaux de surface doivent se conformer aux arrêtés ou autres règlements pour éviter les amendes. Par conséquent, dans bien des cas le traitement en fin de cycle est nécessaire à l'usine avant le rejet. Dans certaines situations, les industries trouvent aussi plus avantageux de payer les amendes que d'investir dans le traitement afin de respecter la réglementation (WWAP, 2015).

Les effluents mixtes nécessitent des chaînes de traitements complexes et résultent en une qualité de rejets d'eaux usées conforme aux réglementations

locales. Cette eau, parce qu'elle doit souvent répondre à des réglementations rigoureuses, peut être inutilement de qualité supérieure à celle exigée à d'autres fins, par exemple les applications de recyclage. Étant donné qu'il est habituellement plus difficile et coûteux de traiter des eaux usées contenant de nombreux polluants que des eaux usées contenant une seule de ces substances, il est souvent souhaitable de procéder à une séparation des flux. Il convient également d'éviter de mélanger des eaux usées plus concentrées avec des flux qui pourraient être convenables pour le rejet direct ou le recyclage (WWAP, 2006). Toutefois, dans certains cas spécifiques, le mélange approprié de flux d'eaux usées provenant de différentes sources pourrait potentiellement avoir des

effets bénéfiques en ce qui concerne le traitement. De toute façon, le traitement adapté à l'usage prévu peut optimiser la qualité de l'eau pour son prochain usage.

Il existe une myriade de choix de traitement, à savoir les étangs de stabilisation, la digestion anaérobie et les bioréacteurs destinés à la production du biogaz, les boues activées, différents types de membranes, le rayonnement UV, l'ozonisation, l'oxydation avancée et l'utilisation de différentes sortes de terres humides (voir tableau 4.2). En 2015, l'exploitation pétrolière et gazière, l'industrie agroalimentaire, et l'industrie minière devaient représenter la moitié de l'ensemble des dépenses en technologies de traitement des eaux, et une croissance supplémentaire dans la technologie était prévue pour répondre aux exigences strictes en matière de décharge, par exemple dans le secteur minier (voir encadré 6.2). D'ici à 2020, le marché des technologies de traitement de l'eau industrielle devrait progresser de 50 % (GWI, 2015).

### 6.3.3 Recyclage des eaux usées et récupération des sous-produits

**Recyclage à l'intérieur d'une usine.** Dans l'ensemble, l'industrie est en bonne position pour utiliser ou recycler ses eaux usées sur le plan interne. Cela pourrait impliquer l'utilisation directe d'eaux usées non traitées, pourvu que leur qualité soit suffisante pour l'utilisation prévue. L'eau de refroidissement et de chauffage, ainsi que les eaux de pluie peuvent être appropriées pour le lavage, l'ajustement du pH et la protection contre les incendies. Cependant, l'eau de procédé qui est suffisamment traitée de manière à ce que la qualité qui en résulte corresponde à l'usage envisagé est plus susceptible d'être recyclée, par exemple dans le transport du matériel, comme eau de rinçage, dans les tours de refroidissement d'eau, dans l'alimentation de chaudières, la ligne de production, l'élimination des poussières, et le lavage (voir encadré 6.3). Cette qualité est obtenue par les systèmes de traitement décentralisés. Certes la technologie est généralement disponible, comme indiqué dans l'encadré 6.2, et il existe une tendance visant à réduire l'écart entre le traitement et le recyclage (Rapports GE, 2015), mais les obstacles peuvent être la mise en œuvre, les coûts plus élevés que les avantages, la longue période nécessaire pour obtenir un retour sur investissement, la maintenance et la consommation d'énergie. En outre, l'emplacement et la disponibilité (production intermittente, en lots ou en continu) du flux d'eaux usées doivent cadrer avec l'usage auquel elles sont destinées.

L'utilisation des eaux usées ou le recyclage des eaux usées traitées est un processus qui peut être répété plusieurs fois. Ce processus permet non seulement de réduire le coût lié à l'achat d'eau douce en diminuant les prises, en particulier dans les régions où l'eau manque ou à des périodes de pénurie, mais également de réduire les rejets. Ainsi, la nécessité de respecter les

**D'ici à 2020,  
le marché des  
technologies de  
traitement de l'eau  
industrielle devrait  
progresser de 50%**

#### ENCADRÉ 6.2 PROJET ANGLO AMÉRICAIN DE RÉCUPÉRATION DE L'EAU A EMALAHLENI, MPUMALANGA, AFRIQUE DU SUD

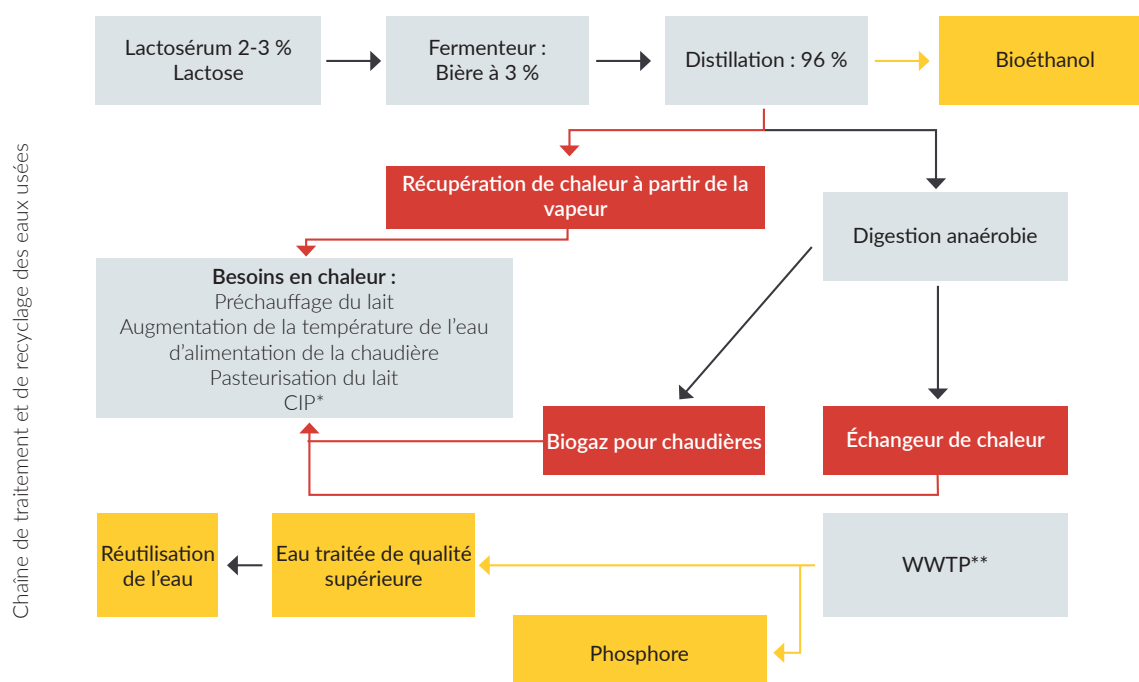
Les bassins houillers de Witbank sont situés dans la zone d'eMalahleni, une ville d'un demi-million d'habitants dans le nord-est de l'Afrique du Sud. La région fait face à une pénurie d'eau qui devrait encore s'aggraver à l'avenir, alors qu'eMalahleni a déjà beaucoup de mal à satisfaire la demande en eau de sa population en expansion rapide. L'initiative de récupération de l'eau a été lancée en vue d'assurer une gestion responsable de l'excès d'eau dans les mines et un approvisionnement continu en eau traitée pour les activités minières, tout en écartant la nécessité d'importer de l'eau et la concurrence qui en résulte avec d'autres intervenants en raison de la rareté de cette ressource.

L'usine de récupération de l'eau d'eMalahleni traite l'eau issue des trois exploitations de charbon thermique d'Anglo American à travers la technologie du dessalement. L'eau de la mine est convertie en eau potable, en eau de procédé/industrielle et en eau pouvant être rejetée dans l'environnement en toute sécurité. Dans le processus de traitement, le gypse est séparé de l'eau et utilisé comme matériau de construction.

Une partie de cette eau traitée est utilisée directement dans le cadre de l'exploitation minière, mais la majeure partie est destinée à un usage social et répond à 12 % des besoins quotidiens en eau d'eMalahleni en offrant une source d'eau fiable et potable. Anglo American réduit au minimum son empreinte sur l'eau et son impact environnemental tout en offrant les avantages à long terme d'un accès sans danger et continu aux réserves houillères des mines en exploitation, tout en éliminant à la fois la nécessité d'importer de l'eau et le rejet incontrôlé de l'eau en provenant des mines qui participent au projet.

Source : adapté de WBCSD/IWA (s.d.).

### ENCADRÉ 6.3 UTILISATION CRÉATIVE DES EAUX USÉES CHEZ CARBERY MILK PRODUCTS, CORK, IRLANDE



\* CIP : nettoyer en place

\*\*WWTP : usine de traitement des eaux usées

L'industrie laitière aux États-Unis produit de grandes quantités d'eaux usées : pour chaque litre de lait, elle utilise 1,5 à 3 litres d'eau. En général, les eaux usées ont une charge organique environ 10 fois supérieure à celle des eaux usées municipales. Le lactosérum est un sous-produit de la fabrication du fromage qui est couramment utilisé pour nourrir les porcs ou pour la fabrication d'autres produits. Toutefois, il y a un important excédent dont le traitement comme eaux usées est particulièrement gourmand en énergie. Le principal ingrédient du lactosérum est le lactose, qui peut être fermenté et transformé en éthanol dans un processus créatif de recyclage des eaux usées. Carbery Milk Products à Cork, en Irlande, a été le premier producteur de lait au monde à le faire.

Le lactosérum est transmis par microfiltration et osmose inverse et le lactose arrive dans un fermenteur où il est transformé en bière avant de passer dans un système de distillation pour donner un produit constitué à 96 % d'éthanol destiné au marché du carburant bioéthanol. Tout le bioéthanol d'Irlande provient de cette usine et ce pays est le seul en Europe à ne pas utiliser d'éthanol à base de canne à sucre du Brésil.

La vapeur issue de la distillation est récupérée et utilisée pour préchauffer l'eau de la chaudière, l'eau de chauffage pour un nettoyage sur place (CIP) et pour la pasteurisation, ainsi que pour des économies d'énergie.

Le flux de déchets issus de la fermentation est envoyé vers un digesteur anaérobie et produit du biogaz, utilisé pour produire un chauffage supplémentaire.

Les eaux usées chaudes provenant du digesteur anaérobie passent par un échangeur de chaleur pour préchauffer le lait cru refroidi. Ainsi, les eaux usées sont refroidies à une température convenable pour être déversées dans la rivière locale sans affecter l'environnement.

Dans le même temps, les eaux usées ont une concentration de phosphore élevée dont 99 % doivent être éliminés avant le rejet. Le phosphore est réutilisé sur les terres agricoles.

La société souhaite étendre l'usine et les effluents traités de haute qualité qui en résultent sont potentiellement appropriés à des fins de recyclage sur le site, en particulier comme eau d'alimentation, étant donné que le volume d'eau que l'usine peut tirer de la rivière locale est limité. En outre, le recyclage permettrait de réduire les rejets dans la rivière, particulièrement pendant les saisons de faible débit, lorsque la capacité de dilution est plus faible. Le polissage des effluents (déjà de haute qualité) au moyen de l'oxydation avancée fait l'objet de recherches, étant donné qu'il coûte moins cher que l'achat d'eau potable. L'eau passerait dans l'usine d'osmose inverse, qui la déminéralise. Ce procédé a l'avantage supplémentaire de réduire l'encrassement de la membrane de même que la contamination croisée, étant donné qu'il n'y a aucun contact direct avec les produits alimentaires.

Source : adapté de Blue Tech Research (s.d.).



## ENCADRÉ 6.4 SYMBIOSE DE KALUNDBORG, KALUNDBORG, DANEMARK

La Symbiose industrielle de Kalundborg est un « écosystème industriel » dans lequel les sous-produits d'une entreprise sont utilisés comme ressources par d'autres entreprises, dans un cycle fermé. Elle a commencé en 1961 avec l'élaboration d'un nouveau projet visant à utiliser les eaux de surface du lac Tissø pour une nouvelle raffinerie de pétrole dans le but de préserver les réserves limitées d'eaux souterraines. La ville de Kalundborg était responsable de la construction des canalisations tandis que la raffinerie était responsable du financement.

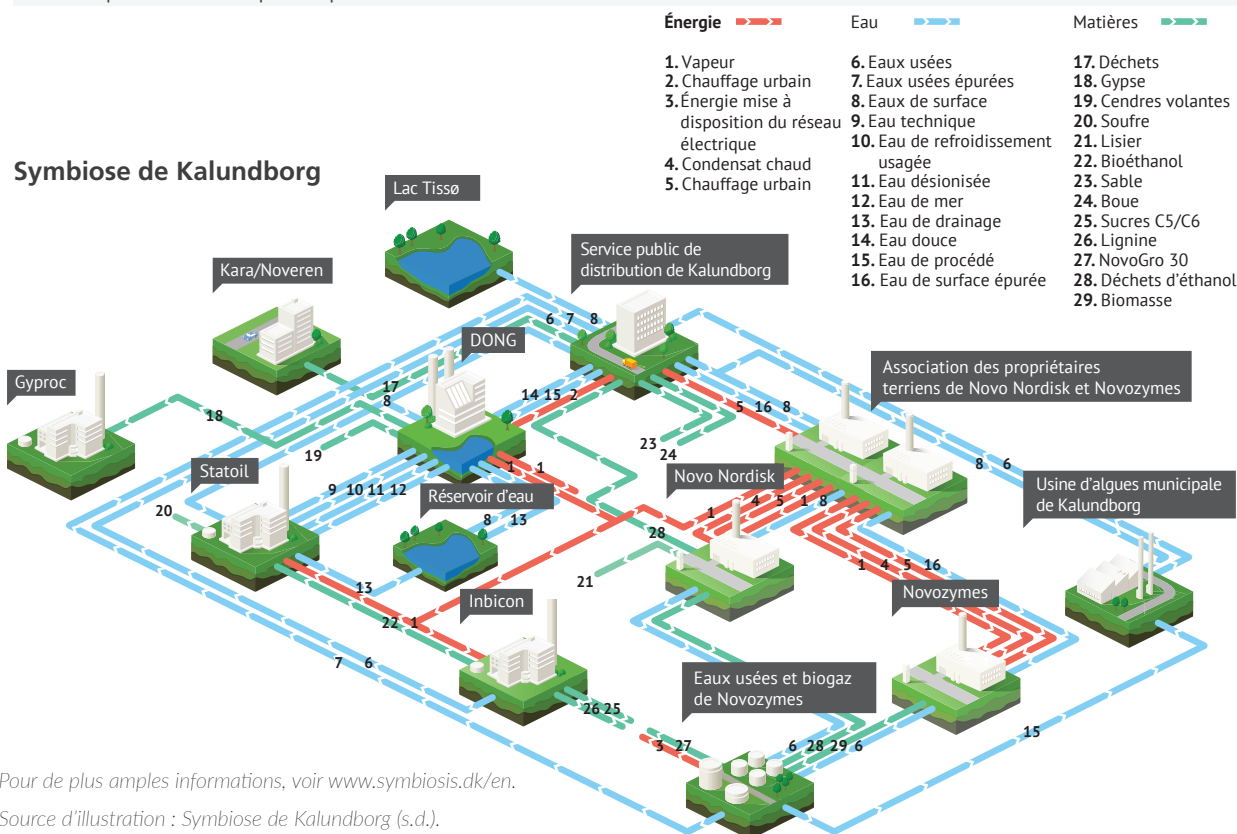
La symbiose industrielle de Kalundborg s'est développée progressivement pendant plusieurs décennies, à partir d'initiatives et de partenariats individuels entre des entreprises de différents secteurs, dans le but de tirer des avantages économiques, et avec le soutien de la municipalité de Kalundborg. Aujourd'hui, le projet est financé principalement par les partenaires de la symbiose.

Cette symbiose implique l'échange de toutes sortes de matériaux, y compris les eaux usées, comme indiqué dans le diagramme de flux ci-dessous.

**Initiatives en cascade autour de l'eau :** Chaque année, la centrale électrique Asnæs reçoit de Statoil 700 000 m<sup>3</sup> d'eau de refroidissement qu'elle traite pour utilisation comme eau d'alimentation de chaudière. Elle utilise également chaque année environ 200 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées de Statoil pour le nettoyage. L'eau de refroidissement devient de la vapeur qui est fournie en retour à Statoil, ainsi qu'à d'autres entreprises telles qu'une ferme piscicole locale. Les économies de ressources en eau locales qui en résultent sont considérables : près de 3 millions de m<sup>3</sup> d'eaux souterraines et 1 million de m<sup>3</sup> d'eaux de surface par an (Domenech et Davis. 2011).

La centrale utilise l'eau salée du fjord pour certains de ses besoins en refroidissement. Par conséquent, les prélèvements d'eau douce du lac Tissø sont réduits. Le sous-produit de ce processus est de l'eau salée chaude, dont une partie est orientée vers les 57 étangs de la ferme piscicole.

**Initiatives en cascade autour de la chaleur :** Asnaes commencé à approvisionner la ville en vapeur pour son nouveau système de chauffage urbain en 1981. Ensuite, Novo Nordisk et Statoil ont rejoint le processus en tant qu'acheteurs de vapeur. Ce système de chauffage urbain a été encouragé par la ville et le gouvernement danois et a ainsi permis de remplacer près de 3 500 chaudières au mazout.



normes réglementaires et le risque de devoir payer une amende sont réduits au minimum. Par ailleurs, cette pratique s'avère bénéfique pour l'environnement et ajoute du poids à tout permis social d'exploitation.

**Symbiose industrielle.** La coopération entre les usines dans le cadre de la symbiose industrielle (SSWM, s.d.) constitue une occasion propice pour l'utilisation et le recyclage des eaux usées industrielles. Il peut s'agir de l'échange d'eau de procédé ou du recyclage des eaux usées traitées à des fins semblables au recyclage dans l'usine. Parmi les exemples on peut citer la vapeur ou les eaux usées chaudes, ou encore les eaux usées contenant des matières organiques et des nutriments, et les matières premières à l'état brut qu'il serait économique de récupérer, l'huile, les solvants usagés, l'amidon et d'autres substances qui peuvent être commercialisées ou recyclées, peut-être en employant des registres de déchets entre des industries adjacentes (WWAP, 2006). Les technologies de traitement sont similaires à celles utilisées dans le recyclage à l'usine et peuvent déployer des systèmes décentralisés. Il peut s'agir d'une usine centralisée de traitement des eaux usées dédiée qui offre ses services à toutes les industries.

**Parcs éco-industriels.** La symbiose industrielle se vit davantage dans les parcs éco-industriels qui, de manière stratégique, positionnent les industries à proximité les unes des autres afin qu'elles puissent tirer le meilleur parti de la gestion des eaux usées et du recyclage (voir encadré 6.4). Pour les PME, il peut s'agir là d'un moyen de faire des économies considérables en termes de coûts de traitement des eaux usées. Les facteurs importants sont le partage des informations afin de faire correspondre les besoins, une proximité raisonnable et la fiabilité de l'approvisionnement en quantité et en qualité. Les centrales de production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE, ou cogénération), qui exigent considérablement moins d'eau de refroidissement que les centrales classiques, sont plus efficaces lorsqu'elles sont situées à proximité de la demande en chaleur et en énergie, telles que le complexe industriel, et comme source d'alimentation décentralisée (Rodríguez et al., 2013). Il existe des exemples intéressants de parcs éco-industriels dans de nombreux pays, par exemple le Parc industriel chimique de Shanghai en Chine (WWAP, 2015).

Les avantages des installations de traitement des eaux usées des parcs éco-industriels sont les mêmes que ceux du recyclage interne (SSWM, s.d.). Les inconvénients sont entre autres la nécessité d'engagements à long terme pour justifier les dépenses en immobilisations initiales et la nécessité d'un traitement supplémentaire pour répondre à certains besoins des industries et probablement des obstacles réglementaires.

Les **systèmes à usages multiples**. (MUS) impliquant des réutilisations en cascade de l'eau de qualité supérieure à l'eau de qualité inférieure au sein d'un bassin fluvial peuvent avoir des composants industriels, par exemple lorsque les eaux usées domestiques peuvent être récupérées pour le lavage et le refroidissement (PNUE, 2015c).

**Récupération des eaux usées urbaines.** L'industrie peut intervenir à l'autre bout du processus de gestion des eaux usées

#### ENCADRÉ 6.5 UTILISATION DES EAUX USÉES MUNICIPALES À DES FINS INDUSTRIELLES ET DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE

L'unité de récupération de l'eau du **site de Tarragone** dans le sud de la Catalogne en Espagne, traite les effluents secondaires de deux des installations municipales de traitement des eaux usées pour les mettre à la disposition des utilisateurs industriels. La région de Tarragone connaît un stress hydrique important et la disponibilité entrave les possibilités de croissance dans la région. Le recyclage de l'eau dans un parc industriel (un complexe pétrochimique) permettra de libérer les droits à l'eau brute existante pour satisfaire la demande locale future (municipalité et tourisme). L'objectif à terme est de satisfaire 90 % de la demande en eau du parc industriel avec de l'eau recyclée (DEMOWARE, s.d.).

**Terneuzen** est situé dans le sud-ouest des Pays-Bas. Le site industriel de Dow Terneuzen prévoyait initialement d'utiliser l'eau de mer dessalée pour ses besoins, mais le coût élevé de cette ressource s'est avéré problématique en raison de problèmes liés à la qualité, la corrosion, etc. Par conséquent, l'usine de traitement des eaux usées municipales voisine a été restructurée pour fournir de l'eau recyclée au complexe industriel (10 000 m<sup>3</sup> par jour). Cette eau sert à produire de la vapeur d'eau destinée à alimenter ses usines de fabrication. Après l'utilisation de la vapeur dans les processus de production, l'eau est à nouveau utilisée dans les tours de refroidissement jusqu'à son évaporation finale dans l'atmosphère (elle est donc « recyclée » une deuxième fois). Par rapport au coût de l'énergie nécessaire pour le dessalement conventionnel de l'eau de mer aux mêmes fins, Dow Terneuzen a réduit sa consommation d'énergie de 95 % à travers la récupération des eaux usées urbaines – l'équivalent de la réduction de ses émissions de dioxyde de carbone de 60 000 tonnes par an. Dow a actuellement exporté cette expérience acquise en Europe sur son site de Freeport au Texas, États-Unis d'Amérique (World Water, 2013).

Le **projet LIFE WIRE** est un projet de LIFE12 qui est actuellement mis en œuvre à Barcelone, en Espagne, et qui vise à stimuler le recyclage industriel des eaux usées traitées en démontrant la faisabilité du recyclage de l'eau à travers l'utilisation de traitements par satellite capables de produire de l'eau de qualité adaptée à l'usage. Le projet étudie la faisabilité des configurations technologiques basées sur la combinaison de l'ultrafiltration, la filtration des matériaux nanostructurés au charbon et l'osmose inverse pour utiliser les eaux usées urbaines traitées dans les industries. Le projet évalue les avantages techniques et économiques liés à l'utilisation du système de traitement proposé par rapport au programme de traitement conventionnel dans trois secteurs industriels : galvanisation, élimination des déchets chimiques et liquides.

Sources : extrait de CE (2016a, encadré 8, p. 25).



## L'industrie doit « produire plus avec moins de ressources », ce qui dans le cas de l'eau est synonyme de fonctionner à sec

en utilisant les eaux usées urbaines récupérées auprès des municipalités (voir encadré 6.5) : cette réutilisation de l'eau connaît une croissance rapide dans de nombreux pays (WBCSD, s.d.). Il s'agit d'une mesure très proactive de la durabilité, dans la mesure où elle réduit les besoins en eau douce, ce qui est particulièrement important dans les zones sujettes à des pénuries d'eau, et réduit les rejets municipaux dans l'ensemble. Les questions de calendrier de disponibilité des eaux usées et de leur transport vers les installations industrielles cibles doivent également être réglées. Dans certains cas, les municipalités vont traiter les eaux usées en les adaptant aux besoins des industries spécifiques qui n'ont pas nécessairement besoin d'être parfaitement potables. En Californie par exemple, les services de distribution d'eaux municipales des bassins du Centre et de l'Ouest fournissent de l'eau recyclée de différentes qualités et différents coûts, y compris l'eau de procédé pour le raffinage du pétrole. L'organisme public de contrôle des ressources en eau (State Water Resources Control Board) favorise également le recours aux eaux usées pour le refroidissement des centrales (California Department of Water Resources, 2013).

### 6.4 Eaux usées et développement industriel durable

*L'eau constitue non seulement un défi opérationnel et un élément de coût dans l'industrie, mais également une opportunité de croissance étant donné que les mesures incitatives visant à réduire au minimum l'utilisation de l'eau (qui comprend l'utilisation et le recyclage des eaux usées) sont des économies de coût et une moindre dépendance vis-à-vis des ressources en eau (WBCSD, s.d.).*

L'industrie doit « produire plus avec moins de ressources », ce qui dans le cas de l'eau est synonyme de fonctionner à sec (ONUDI, 2010).

Étant donné que la réduction des besoins en eau douce a pour corolaire une diminution des rejets d'eaux usées, les initiatives de pollution plus écologiques qui visent à réduire l'utilisation de l'eau dans l'ensemble, à fermer le cycle de l'eau, à éliminer les rejets d'eaux usées (zéro rejet), et à réduire ou éliminer les solvants et produits chimiques toxiques, ont un important rôle à jouer (PNUE, 2010). Une production plus propre par l'intermédiaire de l'industrie verte crée de la valeur en réduisant les coûts opérationnels

grâce à l'élimination des inefficacités à travers la stratégie des 3R (réduire, recycler, réutiliser), ce qui contribue également à limiter les impacts sur l'environnement (ONUDI, 2010). Par exemple, le programme de Transfert de technologies respectueuses de l'environnement (TEST) de l'ONUDI a ciblé la pollution des eaux usées d'origine industrielle sur le fleuve Danube, avec pour objectif l'amélioration de l'efficacité de l'eau et la réduction des rejets d'eaux usées, en analysant les questions et problèmes et en présentant des solutions de production moins polluantes et des technologies nouvelles (ONUDI, 2011) il s'est avéré que l'efficacité dans l'utilisation des ressources et l'amélioration de la performance environnementale génèrent des avantages économiques pour certaines PME (voir encadré 14.3).

Plus généralement, une production plus propre occupe une place importante dans l'écologie industrielle, qui comprend aussi la lutte contre la pollution, l'éco-efficacité, la philosophie du cycle de vie et la production en boucle fermée. Elles permettent l'identification des possibilités de renforcement de l'efficacité dans l'utilisation des ressources et des activités à valeur ajoutée. Le but ultime est d'atteindre le taux de rejets zéro ; la situation dans laquelle toute l'eau est recyclée dans une usine ou vendue à une autre et la seule consommation s'effectue par évaporation, ce qui en théorie signifie que toutes les eaux usées sont utilisées ou recyclées et qu'il n'y a pas de rejets (à l'exception des pertes mineures). À ce stade, le prélèvement d'eau (apport) correspond à la consommation (WWAP, 2006). Toutefois, le Paradoxe Jevons<sup>6</sup> peut intervenir : comme l'efficacité de l'eau s'améliore, l'utilisation globale des ressources en eau peut en effet augmenter, avec des coûts de production plus faibles pour une production industrielle améliorée.

Une fois que l'industrie connaît son empreinte sur l'eau et sa généalogie, elle peut orienter sa production d'eaux usées de manière à rechercher des possibilités de réutilisation et de recyclage de l'eau. En outre, elle peut étendre ses efforts visant la neutralité de l'eau (Hoekstra, 2008), ce qui signifie qu'après que l'industrie s'est efforcée d'utiliser ou de recycler ses eaux usées, les effets négatifs de la pollution de l'eau restante peuvent être compensés en investissant dans des projets qui favorisent la gestion durable de l'eau (c'est-à-dire le traitement des eaux usées) dans les environnements locaux. Ainsi, les eaux usées pourraient également être considérées comme ressource pour la promotion des investissements.

<sup>6</sup> Au XIX<sup>e</sup> siècle, William Stanley Jevons soutenait que les gains en efficacité technologique ne diminuaient pas l'utilisation du charbon et d'autres ressources, mais en réalité augmentaient leur consommation et leur production (Alcott, 2005).



# CHAPITRE 7

FAO | Sara Marjani Zadeh

IWMI | Javier Mateo-Sagasta

**Avec la contribution de :** Andreas Antoniou (IGRAC) ; Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; John Chilton (IAH) ; Carlos Carrión-Crespo (OIT) ; Marlos de Souza, Olcay Unver et Vittorio Fattori (FAO) ; Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI) ; et Kate Medlicott (OMS)

# AGRICULTURE

Système d'irrigation en Thaïlande





*Ce chapitre passe en revue les principaux polluants provenant de l'agriculture, leurs incidences, et offre quelques options clés d'atténuation de la pollution. Il explique également comment l'utilisation des eaux usées peut être bénéfique dans l'agriculture et comment rendre cette pratique sans danger.*

L'agriculture est à la fois un producteur et un utilisateur d'eaux usées. En conséquence, le secteur peut à la fois provoquer et subir les conséquences de la pollution.

Ces dernières années, l'intensification de l'agriculture a augmenté dans l'agriculture aussi bien industrielle que traditionnelle, contribuant non seulement à l'augmentation de la productivité agricole, mais entraînant également une augmentation des charges de pollution d'origine hydrique, ce qui affecte les écosystèmes et la santé humaine. Dans le même temps, les industries et les villes se développent et contribuent à une augmentation de la charge de polluants qui pénètrent dans l'eau utilisée dans l'agriculture, avec des effets néfastes pour le secteur.

## 7.1 L'agriculture<sup>7</sup> source de pollution de l'eau

Au cours des cinquante dernières années, l'agriculture a connu une expansion et s'est intensifiée afin de satisfaire la demande alimentaire croissante déclenchée principalement par la croissance démographique et les changements dans le régime alimentaire. La zone équipée pour l'irrigation a plus que doublé, passant d'environ 1,4 million de km<sup>2</sup> en 1961 à environ 3,2 millions de km<sup>2</sup> en 2012 (AQUASTAT, 2014). Le cheptel a plus que triplé, passant de 7,3 milliards de têtes en 1970 à 24,2 milliards en 2011 (FAOSTAT, s.d.a.). L'aquaculture, et en particulier l'aquaculture alimentée par les eaux intérieures et surtout en Asie, a été multipliée par plus de vingt depuis les années 1980 (FAO, 2012).

L'intensification de l'agriculture s'accompagne fréquemment d'une augmentation de l'érosion des sols, d'une augmentation des charges sédimentaires dans l'eau, et d'une utilisation excessive (ou abusive) d'intrants agricoles (les pesticides et engrais par exemple) afin d'augmenter la productivité. Lorsque l'utilisation de tels produits dépasse la capacité d'assimilation des systèmes agricoles, elle entraîne une augmentation de la charge de polluants dans l'environnement. L'utilisation excessive de l'eau

d'irrigation augmente également les flux retours d'eaux usées d'origine agricole dans les masses d'eau sous la forme de percolation profonde en direction des aquifères et de ruissellement vers les eaux de surface.

### 7.1.1 Polluants agricoles : sources et impacts

Les activités agricoles libèrent plusieurs types de polluants dans l'environnement (voir tableau 7.1). Ces polluants ont des répercussions sur les écosystèmes aquatiques en raison de leur importation à partir des exploitations, du transport le long du cycle hydrologique et de la concentration dans les plans d'eau. Les voies de pollution types sont les suivantes : i) la percolation dans les eaux souterraines ; ii) le ruissellement de surface, l'eau de drainage, et l'écoulement vers les cours d'eau, les rivières et les estuaires ; et iii) l'adsorption sur les sédiments issus de l'érosion d'origine naturelle ou humaine vers des ruisseaux riches en sédiments (FAO/CGIAR WLE, à paraître).

#### NUTRIMENTS

Depuis le XIXe siècle, les engrais ont été ajoutés aux sources naturelles de nutriments (et au recyclage des nutriments) en vue d'augmenter la production agricole. On affirme aujourd'hui que la mobilisation excessive des nutriments est allée au-delà des frontières planétaires (Rockström et al., 2009).

Dans la production agricole, la pollution de l'eau par les éléments nutritifs se produit lorsque la quantité d'engrais appliquée est largement supérieure à la capacité d'absorption des cultures, ou lorsque l'engrais est lavé à la surface du sol avant d'avoir été absorbé par les plantes. L'excédent d'azote et de phosphates peut s'infiltrer dans les eaux souterraines ou comme ruissellement de surface dans les cours d'eau. En outre, les nitrates et l'ammoniac sont très solubles, contrairement au phosphate, qui a tendance à être adsorbé sur les particules du sol. Il entre dans les plans d'eau par le biais des sédiments à travers l'érosion des sols.

Dans la production animale, les parcs d'élevage sont souvent situés sur les berges des cours d'eau de sorte que les déchets animaux (notamment l'urine), riches en nutriments, peuvent être rejetés directement dans le cours d'eau. Les déchets solides (excréments) sont habituellement recueillis pour être utilisés comme engrais organique. Dans bien des cas cependant, il n'est pas stocké dans des zones maîtrisées et est lavé par le ruissellement de surface vers les cours d'eau lors de précipitations abondantes. Dans l'aquaculture alimentée

<sup>7</sup> L'agriculture dans ce chapitre renvoie à la production agricole, l'aquaculture et les activités d'élevage.

**Tableau 7.1 Catégories des principaux polluants de l'eau issus de l'agriculture et contribution relative des systèmes de production agricole**

| Catégorie de polluant | Indicateurs/Exemples                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Contribution relative de |         |             |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|-------------|
|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Production agricole      | Élevage | Aquaculture |
| Nutriments            | Principalement l'azote et le phosphore qui sont présents dans les engrais chimiques et organiques, les excréments d'animaux, et également dans l'eau sous forme de nitrate, d'ammoniac ou de phosphate.                                                                                              | ***                      | ***     | *           |
| Pesticides            | Herbicides, insecticides, fongicides et bactéricides, y compris les organophosphates, les carbamates, les pyréthrinoides, les pesticides organochlorés et autres (nombreux d'entre eux, par exemple le DDT, sont interdits dans la plupart des pays, mais continuent d'être utilisés illégalement).  | ***                      | —       | —           |
| Sels                  | Notamment les ions du sodium (Na <sup>+</sup> ), le chlorure (Cl <sup>-</sup> ), le potassium (K <sup>+</sup> ), le magnésium (Mg <sup>2+</sup> ), les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), le calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et les bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), entre autres.* | ***                      | *       | *           |
| Sédiments             | Mesurés dans l'eau en tant que matières en suspension totales ou unités de turbidité néphélométrique, provenant notamment du drainage des étangs pendant la récolte.                                                                                                                                 | ***                      | ***     | *           |
| Matières organiques   | Substances chimiques ou biochimiques qui requièrent de l'oxygène dissous dans l'eau pour la dégradation (des matières organiques, telles que les matières végétales et les excréments du bétail).**                                                                                                  | *                        | ***     | **          |
| Agents pathogènes     | Bactéries et indicateurs pathogènes, y compris <i>E. coli</i> , les coliformes totaux, les coliformes fécaux, et les entérocoques.                                                                                                                                                                   | *                        | ***     | *           |
| Métaux                | Notamment le sélénium, le plomb, le cuivre, le mercure, l'arsenic, le manganèse, entre autres.                                                                                                                                                                                                       | *                        | *       | *           |
| Polluants émergents   | Résidus de médicaments, hormones, additifs alimentaires, etc.                                                                                                                                                                                                                                        | —                        | ***     | **          |

\* Mesuré dans l'eau, directement comme matières dissoutes totales ou indirectement comme conductivité électrique

\*\* Mesuré dans l'eau comme DCO et DBO

Source : FAO/GCRAI WLE (à paraître).

par les eaux usées, les charges de nutriments dans l'eau sont principalement fonction de la composition et la conversion alimentaires (déchets fécaux). Le gaspillage d'aliments pour animaux (aliments non consommés par les poissons) dans l'aquaculture à utilisation intensive d'aliments peut contribuer de façon significative à l'augmentation de la charge de nutriments dans l'eau.

Ces charges de nutriments peuvent conduire à l'eutrophisation des lacs, réservoirs et étangs, causant une prolifération d'algues qui opprime d'autres plantes et animaux aquatiques (FAO, 2002). Une accumulation excessive de nutriments peut également accroître les effets néfastes sur la santé tels que le syndrome du bébé bleu, qui peut être causé par une forte concentration de nitrates dans l'eau potable (OMS, 2006a).

## PESTICIDES

Dans de nombreux pays, les insecticides, herbicides et fongicides sont fortement utilisés en agriculture (Schreinemachers et Tipraqsa, 2012). Lorsqu'ils sont mal choisis et gérés, ils peuvent polluer les ressources en eau

par des substances cancérigènes et d'autres substances toxiques qui peuvent affecter l'être humain et plusieurs espèces d'animaux sauvages. Les pesticides peuvent aussi affecter la biodiversité en détruisant les mauvaises herbes et les insectes, ce qui peut avoir des répercussions négatives plus haut dans la chaîne alimentaire. Dans le monde développé, même si l'utilisation d'anciens pesticides à large spectre est encore très répandue, la tendance actuelle est à l'utilisation des nouveaux pesticides plus sélectifs et moins toxiques pour les humains et l'environnement, qui exigent une faible application par hectare pour être efficaces.

À l'heure actuelle, des millions de tonnes d'ingrédients actifs de pesticides sont utilisés en agriculture (FAOSTAT, s.d.b.) et les cas aigus d'empoisonnement par les pesticides représentent une importante morbidité et mortalité dans le monde, en particulier dans les pays en développement (OMS, 2008), où les agriculteurs pauvres utilisent souvent des préparations pesticides extrêmement dangereuses plutôt que des alternatives plus sûres.

## SELS

Au cours des dernières décennies, la production d'eau de drainage saumâtre et d'eaux de lessivage provenant de l'agriculture a augmenté proportionnellement à l'accroissement de l'irrigation.

Les sels accumulés dans les sols peuvent être mobilisés par l'irrigation (fractions de lixiviation), transportés par l'eau de drainage, et causent la salinisation des masses d'eau réceptrices. En outre, une irrigation excessive peut augmenter le niveau des nappes phréatiques provenant d'aquifères salins, ce qui peut augmenter l'infiltration d'eaux souterraines salines dans les cours d'eau et en augmenter la salinisation. L'intrusion d'eau salée dans les nappes aquifères est une autre cause majeure de salinisation des ressources en eau dans les zones côtières. Cette intrusion est souvent le résultat d'un prélèvement excessif des eaux souterraines (Mateo-Sagasta and Burke, 2010).

Des problèmes majeurs liés à la salinité de l'eau ont été signalés aux États-Unis, en Australie, en Chine, en Inde, en Argentine, au Soudan et dans de nombreux pays d'Asie centrale (FAO, 2011). En 2009, environ 1,1 milliard de personnes vivaient dans des régions qui avaient des eaux souterraines salines à des profondeurs faibles et moyennes (Van Weert et al., 2009).

Les eaux fortement salines altèrent les cycles géochimiques avec d'autres éléments majeurs tels que le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre, la silice et le fer (Herbert et al., 2015), avec une incidence globale sur les écosystèmes. La salinisation peut affecter le biote d'eau douce à trois niveaux : i) des changements au sein des espèces ; ii) des changements dans la composition de la communauté, et iii) éventuellement la perte de la biodiversité et la migration. En général, lorsque les concentrations de salinité augmentent, on observe un recul de la biodiversité (y compris des microorganismes, des algues, des plantes et des animaux) (Lorenz, 2014).

## SÉDIMENTS ET AUTRES POLLUANTS

L'utilisation non viable des terres, le mauvais travail et la mauvaise gestion du sol dans l'agriculture sont les principales causes de l'érosion et du ruissellement des sédiments dans les rivières, les lacs et les réservoirs. Les sédiments dans les systèmes fluviaux sont un mélange complexe de matières minérales et organiques, qui peut causer l'envasement du réservoir et affecter la vie aquatique en modifiant et en étouffant l'habitat, ainsi que l'obstruction des branchies des poissons. Les sédiments peuvent aussi transporter des polluants chimiques tels que les pesticides ou le phosphate.

L'agriculture peut également être la source de plusieurs autres types de polluants, dont les matières organiques, les agents pathogènes, les métaux et les contaminants émergents. L'excès de matières organiques épuise les réserves d'oxygène dans les plans d'eau et augmente

le risque d'eutrophisation et de prolifération d'algues dans les lacs et réservoirs. Au cours des 20 dernières années, de nouveaux polluants agricoles sont apparus, tels que les antibiotiques, les vaccins, les stimulateurs et hormones de croissance qui peuvent s'infiltrer dans l'eau à travers le bétail et les fermes aquacoles, ce qui augmenterait les risques pour les écosystèmes et la santé humaine. Les résidus de métaux lourds dans les intrants agricoles tels que les engrais ou les aliments pour animaux constituent également des menaces émergentes.

## 7.1.2 Réponse à la pollution d'origine agricole

### CONNAISSANCES ET RECHERCHE

Il existe d'importantes lacunes dans les connaissances relatives à la pollution d'origine agricole. La contribution réelle des cultures, du bétail et de l'aquaculture à la pollution de l'eau n'est pas connue pour la plupart des bassins et pays, en particulier dans le monde en développement. Ces connaissances sont essentielles pour permettre aux gouvernements nationaux de mesurer l'ampleur du problème et d'élaborer des politiques efficaces et rentables. En outre, si la source de la pollution n'est pas bien connue, le principe du pollueur-payeur ne peut pas être appliqué. Une recherche et un effort de modélisation soutenus, appuyés par la surveillance de la qualité de l'eau, seraient nécessaires pour mieux comprendre les voies empruntées par les polluants. Il est également nécessaire de procéder à des évaluations rigoureuses visant à comprendre les voies empruntées, ainsi que les risques sanitaires et environnementaux provenant de nouveaux polluants agricoles tels que les hormones animales, les antimicrobiens et d'autres produits pharmaceutiques.

### POLITIQUES ET INSTITUTIONS

Un cadre politique adéquat est nécessaire pour permettre de contrôler efficacement la pollution agricole. Des politiques peuvent être mises en œuvre à travers différents types d'instruments : lois et règlements, plans et programmes, instruments économiques, programmes d'information, de sensibilisation et d'éducation (FAO, 2013b). Ces instruments doivent fournir aux agriculteurs des incitations adéquates pour l'adoption de bonnes pratiques agricoles pour le contrôle de la pollution.

Étant donné que les politiques de production alimentaire et environnementale sont généralement élaborées par différents ministères, le sentiment de responsabilité partagée pour la législation et le contrôle en matière de pollution fait généralement défaut. Dans bien des cas, cette situation a conduit à des conflits entre les politiques visant à accroître la production alimentaire et le revenu agricole d'une part, et celles visant à atténuer la pollution côtière et intérieure d'autre part. Il est nécessaire d'instaurer des

mécanismes de coopération interministérielle accrue afin d'élaborer des politiques plus cohérentes. Des plans et programmes de lutte contre la pollution de l'eau doivent être adoptés à l'échelle du bassin ou du bassin hydrographique et couvrir les différentes sources de pollution, y compris l'industrie et les zones urbaines qui s'ajoutent à l'agriculture, et idéalement, d'identifier les cas dans lesquels les eaux usées d'un secteur peuvent devenir une ressource pour un autre secteur, dans le cadre d'une économie circulaire.

## PRATIQUES À LA FERME

Les pratiques à la ferme jouent un rôle crucial dans la gestion et l'atténuation de la pollution agricole. Dans la production agricole, les mesures de gestion visant à réduire les risques de pollution des eaux par des engrais organiques et inorganiques et les pesticides comprennent : i) la limitation et l'optimisation des types, des montants et du calendrier d'application d'engrais et de pesticides aux cultures ; ii) l'établissement de zones tampons le long des cours d'eau de surface ; et iii) l'établissement de zones de protection autour des sources d'approvisionnement en eau souterraine. De plus, des programmes d'irrigation efficace peuvent permettre de réduire considérablement les pertes d'eau et d'engrais (Mateo-Sagasta et Burke, 2010). Pour lutter contre l'érosion, il faut une bonne gestion (c'est-à-dire un labour suivant les courbes de niveau) ou des restrictions sur la culture des sols fortement inclinés (US EPA, 2003).

Le problème de la qualité de l'eau dans le secteur de l'élevage et de l'aquaculture découle de déchets

solides et liquides (FAO, 2013b). Ainsi, le fumier produit par le bétail est une matière précieuse pour améliorer la fertilité du sol et peut permettre d'économiser sur les coûts de l'engrais. Il est toutefois très polluant s'il est répandu au mauvais moment ou au mauvais endroit. Faute de précautions suffisantes, le bétail et les pratiques d'aquaculture peuvent aussi contribuer à la contamination microbiologique des cours d'eau et des eaux souterraines. Par conséquent, des mesures visant à combattre et enrayer la propagation d'agents pathogènes (c.-à-d. les bactéries provenant des boues du bétail) et d'autres polluants (c.-à-d. le nitrate) sont essentielles.

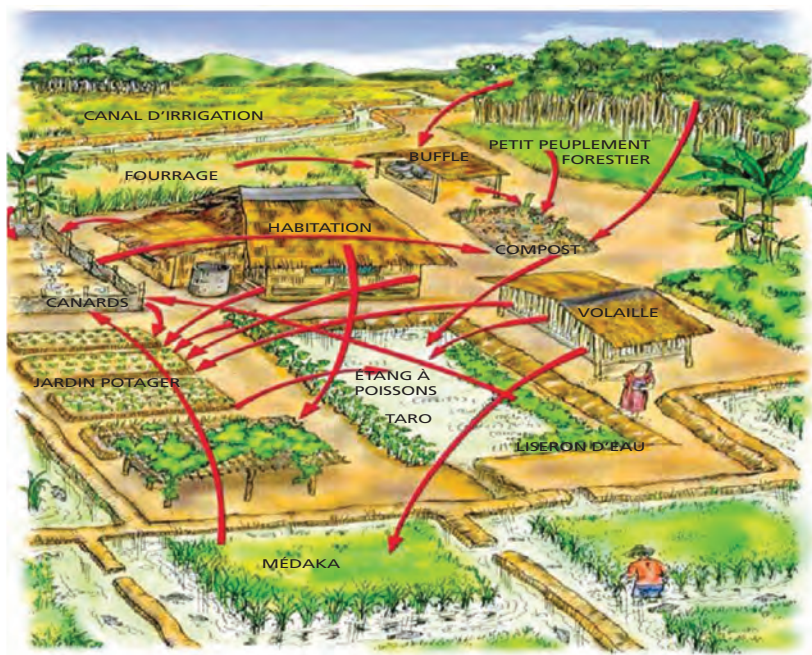
Les risques associés à l'eau saumâtre ou saline issue du drainage agricole (reflux) doivent également être gérés. Les options pertinentes de gestion de l'eau sont entre autres la minimisation du drainage par la conservation de l'eau, le traitement de l'eau de drainage (c'est-à-dire les bassins d'évaporation pour le drainage salin), ou la réutilisation de l'eau. L'eau de drainage saumâtre ou saline peut être réutilisée directement en aval, ou mélangée avec de l'eau douce. Ces démarches nécessitent une planification au niveau du bassin hydrographique pour adapter les pratiques agricoles et les cultures à l'augmentation de la teneur en sel après différents cycles de réutilisation, laquelle peut également inclure la production de crevettes et de poisson dans des eaux saumâtres ou salines.

L'aquaculture-agriculture intégrée (voir figure 7.1), où les récoltes alimentaires, les légumes, le bétail, les arbres et les poissons sont gérés collectivement, peut conduire à une amélioration de la stabilité de la production, de

l'efficacité dans l'utilisation des ressources et de la durabilité de l'environnement.

L'agriculture intégrée garantit que les déchets d'une entreprise deviennent un intrant dans une autre plantation. Ainsi, l'utilisation des ressources est optimisée et la pollution réduite (FAO 2013b).

Figure 7.1 Agriculture-aquaculture intégrées



Source : FAO (2013b, fig. 7.3, p. 93).

## 7.2 L'agriculture utilisateur des eaux usées

Avec l'augmentation de la demande de produits agricoles, les agriculteurs se tournent vers des sources d'eau non conventionnelles. En raison de leur forte teneur en nutriments, les eaux usées domestiques et municipales offrent une possibilité intéressante, notamment lorsque les ressources en eau classiques sont rares ou absentes.

Si les eaux usées sont utilisées dans l'agriculture sans précautions de sécurité nécessaires, les polluants microbiologiques et chimiques peuvent s'accumuler dans les cultures, les produits de l'élevage, le sol ou les ressources en eau, et avoir de



graves répercussions sur la santé des consommateurs d'aliments et travailleurs agricoles exposés. Toutefois, lorsqu'elles sont traitées de façon adéquate et utilisées sans risque, les eaux usées constituent une source précieuse d'eau et de nutriments, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à l'amélioration des moyens de subsistance.

Les eaux usées peuvent être utilisées directement ou indirectement dans l'agriculture. L'utilisation directe se rapporte à l'utilisation planifiée et délibérée d'eaux usées traitées ou non traitées à certaines fins bénéfiques, y compris l'irrigation, l'aquaculture et l'élevage. On parle d'utilisation indirecte lorsque des eaux usées traitées, partiellement traitées ou non traitées sont déversées dans les réservoirs, des cours d'eau et autres plans d'eau, y compris les eaux souterraines, qui fournissent de l'eau pour l'agriculture. L'utilisation indirecte pose les mêmes risques pour la santé que les projets d'utilisation planifiée des eaux usées, mais est plus susceptible de poser des problèmes de santé parce que l'utilisateur de l'eau n'est pas conscient de la présence des eaux usées (FAO, 1997).

Une autre méthode importante d'utilisation indirecte des eaux usées dans l'agriculture est le recours à la gestion des systèmes de recharge des aquifères dans laquelle les eaux usées traitées ou partiellement traitées sont infiltrées dans les aquifères à travers les étangs, les tranchées, les lagunes ou les puits d'injection pour être à nouveau prélevées par la suite (Dillon et al., 2012). Dans bien des cas, le sol et la zone non saturée de l'aquifère aident à éliminer les polluants des eaux usées, de sorte que l'eau souterraine à nouveau prélevée peut être utilisée pour tous types de cultures.

Les eaux usées sont généralement riches en matières en suspension (particules) et en nutriments dissous. Pour optimiser la réutilisation de l'eau, sa qualité, sa quantité et son emplacement sont des facteurs importants à prendre en compte (Iannelli et al., 2011).

**Toutefois, lorsqu'elles sont traitées de façon adéquate et utilisées sans risque, les eaux usées constituent une précieuse source d'eau et de nutriments, contribuant à la sécurité alimentaire et à l'amélioration des moyens de subsistance**

## 7.2.1 L'utilisation des eaux usées : une opportunité pour l'agriculture

### IRRIGATION

Selon la base de données AQUASTAT de la FAO (s.d.b.), environ 3 928 km<sup>3</sup> d'eau sont prélevés chaque année à travers le monde (voir figure 1, prologue), dont 44 % (1 716 km<sup>3</sup> par an) sont consommés et 56 % (2 212 km<sup>3</sup> par an) sont rejetés sous forme d'eaux usées, y compris sous forme de drainage agricole et d'eaux usées.

Les eaux usées municipales représentent la plus grande partie des eaux usées utilisées directement dans l'agriculture. Les besoins en eau des municipalités représentent 11 % des prélèvements de ressources en eau à travers le monde (AQUASTAT, s.d.b.). Seulement 3 % de ce total est consommé, les 8 % restants étant rejetés sous forme d'eaux usées, ce qui représente 330 km<sup>3</sup> par an (Mateo-Sagasta et al., 2015), dont une grande partie pourrait servir dans l'irrigation agricole.

Par ailleurs, le drainage agricole et les eaux usées représentent 32 % (soit 1 257 km<sup>3</sup> par an) des prélèvements d'eau. Ce chiffre met en exergue le fait que les politiques, la planification et la mise en œuvre ne devraient pas être entièrement axées sur la gestion des eaux usées municipales, mais aussi sur le drainage agricole durable, le reflux et la gestion des eaux usées. Comme indiqué ci-dessus, la réutilisation de l'eau pour l'agriculture peut avoir d'importants avantages pour la santé, y compris l'accroissement de la sécurité alimentaire et une meilleure nutrition.

Aujourd'hui, l'utilisation planifiée des eaux usées municipales est un modèle couramment utilisé dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (MENA), l'Australie, et la Méditerranée, ainsi qu'au Mexique, en Chine et aux États-Unis (AQUASTAT, s.d.b.). Toutefois, nous ne disposons pas d'un inventaire complet de l'étendue de l'utilisation des eaux usées traitées ou non traitées dans l'agriculture, à l'exception des efforts d'amorce engagés par des institutions comme AQUASTAT (s.d.b.). L'insuffisance du traitement des eaux usées et la pollution de l'eau à grande échelle qui en résulte indiquent que les surfaces irriguées par des eaux usées insalubres sont probablement dix fois supérieures à celles irriguées par les eaux usées traitées (Drechsel et Evans, 2010).

Selon la FAO, à l'échelle mondiale, 2,75 millions de km<sup>2</sup> de terres sont effectivement irrigués (AQUASTAT, 2014). Les quelque 330 km<sup>3</sup> d'eaux usées municipales générées chaque année pourraient irriguer 40 millions d'hectares (avec environ 8 000 m<sup>3</sup> par hectare) (Mateo-Sagasta et al., 2015), soit 15 % de toutes les terres irriguées. Les estimations de la superficie totale irriguée par des eaux usées brutes et diluées sont encore fragmentaires, mais les chiffres se situent probablement entre 5 et 20 millions d'hectares, la plus grande partie se trouvant

probablement en Chine (Drechsel et Evans, 2010), ce qui représente entre 2 % et 7 % de la superficie irriguée totale à travers le monde.

Le faible pourcentage d'eaux usées utilisé par l'agriculture de manière planifiée – et son application dangereuse dans la plupart des cas – confirme l'énorme potentiel d'amélioration et d'accroissement de la demande d'eaux usagées (provenant de sources municipales, industrielles et agricoles) afin de répondre à la demande en eau pour la production alimentaire mondiale.

## AQUACULTURE ET ÉLEVAGE

L'objectif de la fertilisation d'un étang aquacole avec les excréments ou les eaux usées est de produire des aliments naturels pour les poissons (voir encadré 5.4). Une large gamme d'espèces de poissons a été cultivée à travers cette méthode. Les poissons peuvent être élevés dans des étangs qui reçoivent les effluents ou les boues, où ils peuvent se nourrir d'algues et d'autres organismes pouvant croître dans l'eau riche en nutriments. Les poissons tirent alors les nutriments des eaux usées et sont par la suite récoltés pour la consommation humaine ou comme aliments pour animaux.

La qualité et l'état du poisson vont influencer son acceptation au niveau local. La flore microbienne d'un poisson reflète celle de l'eau dans laquelle il a été pêché (p. ex. le tube digestif, la peau ou les fluides des cavités corporelles). Il peut y avoir des inquiétudes au sujet de la contamination des poissons, surtout lorsqu'ils sont récoltés, nettoyés et préparés. S'ils sont bien cuits, ils doivent être sans danger, mais il est conseillé de déplacer les poissons vers un étang d'eau claire pendant plusieurs semaines avant qu'ils ne soient récoltés pour la consommation humaine.

L'utilisation de l'eau par le bétail, et la contribution du bétail à l'épuisement de l'approvisionnement en eau sont élevées et ne cessent de croître (FAO, 2006). Les produits d'origine animale nécessitent largement plus d'eau par unité d'énergie nutritionnelle produite que les aliments d'origine végétale (Gerbens-Leenes et al., 2013). L'utilisation sans risque des eaux usées est susceptible de jouer un rôle important dans la mesure où celles-ci peuvent remplacer l'eau douce pour la production de fourrages récoltés (par exemple le foin ou l'ensilage), ou en guise d'eau d'entretien (par exemple les installations de refroidissement et de nettoyage). L'utilisation d'eaux usées dans le secteur de l'élevage, qu'elles proviennent de la production municipale/industrielle ou même de la ferme qui les utilise, est principalement dictée par la qualité des eaux usées. Un minimum de traitement secondaire et la désinfection sont généralement recommandés. En outre, l'eau recyclée destinée à être utilisée dans l'élevage des bovins doit avoir subi un traitement

**À l'heure actuelle, des millions de tonnes d'ingrédients actifs de pesticides sont utilisés en agriculture et les cas aigus d'empoisonnement par les pesticides représentent une importante morbidité et mortalité dans le monde, en particulier dans les pays en développement**

visant à en éliminer les parasites helminthes. Un tel traitement peut être soit basé sur le lagunage (pendant une période de 25 jours ou plus) ou sur une méthode de filtration approuvée, comme la filtration sur sable ou sur membrane (EPA Victoria, 2002).

### 7.2.2 Risques

L'utilisation des eaux usées pour l'irrigation connaît plus de succès dans les zones urbaines et périurbaines, où les eaux usées sont facilement disponibles et fiables, généralement gratuitement, et où il existe un marché pour les produits agricoles. Parfois, le stockage des eaux usées peut être nécessaire pour assurer un traitement partiel ou parce que les tendances de l'offre peuvent ne pas correspondre à la demande (par exemple les variabilités saisonnières).

Les eaux usées collectées vont suivre certaines procédures de traitement au niveau de l'usine de traitement des eaux usées avant d'être utilisées dans les champs ou à toute autre fin. Bien que les niveaux de traitement requis varient selon la source des eaux usées (le type et la concentration de contaminants) et l'utilisation prévue (type de récolte, méthode de récolte, etc.), le traitement secondaire est souvent considéré comme suffisant pour l'utilisation dans l'agriculture.

Les eaux usées traitées ou l'eau réutilisée devront ensuite passer par des techniques d'application convenablement contrôlées, et éventuellement subir un traitement supplémentaire si besoin.

### RISQUES POUR LA SANTÉ

L'utilisation des eaux usées constitue un risque pour la santé des agriculteurs, des travailleurs et des consommateurs de la chaîne alimentaire, en raison de la possibilité de contamination microbienne et chimique. L'utilisation de main-d'œuvre bon marché est une pratique courante chez les agriculteurs qui utilisent des eaux usées, et l'essentiel de ce travail est effectué par des femmes. En conséquence, ils sont confrontés à des risques accrus pour la santé, dont l'exposition aux agents pathogènes, ainsi que le risque de transmission aux membres de la famille (Moriarty et al., 2004).

## La réutilisation de l'eau pour l'agriculture peut avoir d'importants avantages pour la santé, y compris l'accroissement de la sécurité alimentaire et une meilleure nutrition

Différentes approches ont été proposées pour l'atténuation des risques pour la santé. Beaucoup d'entre elles ont porté sur la qualité de l'eau et des règlements stricts au point d'utilisation, ce qui fait du traitement des eaux usées un élément central en matière de réutilisation de l'eau (Asano et Levine, 1998 ; Mara et Cairncross, 1989). Dans l'Union européenne, par exemple, le projet Aquarec propose sept catégories de qualité (axées sur le traitement) pour les différents types de réutilisation, avec des limites microbiennes et chimiques pour chaque catégorie (Salgot et al., 2006).

Toutefois, dans les pays à faible revenu, les normes strictes en matière de qualité de l'eau destinée à la réutilisation sont souvent perçues comme hors de portée et ne connaissent pas de succès dans la pratique. Le document Directives de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture (OMS, 2006a), reconnaît les risques potentiels pour la santé des eaux usées sans traitement ou avec un traitement inadéquat, et la nécessité de réduire de tels risques. Les directives proposent l'utilisation d'un certain nombre d'obstacles (approche à barrières multiples) pour protéger la santé publique le long de la chaîne d'assainissement et de la chaîne alimentaire, de la production à la consommation des eaux usées, au lieu de se concentrer uniquement sur la qualité des eaux usées au point d'utilisation (voir encadré 7.1).

### RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

L'utilisation des eaux usées traitées et l'optimisation de l'apport de nutriments pour les sols irrigués par les eaux usées peuvent certes avoir plusieurs avantages environnementaux, mais il existe certains risques environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées non traitées ou partiellement traitées pour l'irrigation. Ces risques comprennent la contamination des sols, la pollution des eaux souterraines et la dégradation des eaux de surface.

La commercialisation d'eaux usées urbaines partiellement traitées (pour l'irrigation) en échange de l'accès à des sources d'eau douce (pour d'autres usages dans les zones urbaines et périurbaines)

constitue une approche qui peut contribuer à une meilleure gestion globale des ressources en eau et à la réduction des effets néfastes sur la santé et l'environnement (Hanjra et al., 2012).

La mobilité des contaminants et leur capacité à s'accumuler aggravent la menace qu'ils posent pour l'environnement et pour la société.

**Sol :** l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation ajoute des nutriments, des matières solides dissoutes, des sels et des métaux lourds au sol. Au fil du temps, des quantités excessives de ces éléments peuvent s'accumuler dans la zone racinaire avec des effets probablement nocifs sur le sol. L'utilisation à long terme des eaux usées pourrait provoquer une salinité des sols, leur engorgement, l'effondrement de leur structure, la réduction globale de leur capacité productive et une baisse des rendements agricoles. Les répercussions sont fonction de facteurs tels que la source, l'intensité d'utilisation et la composition des eaux usées, ainsi que les propriétés du sol et les caractéristiques biophysiques propres aux cultures.

**Eaux souterraines :** l'utilisation des eaux usées a le potentiel aussi bien de recharger les nappes d'eau souterraines (externalité positive) que de polluer les ressources en eaux souterraines (externalités négatives). La percolation de l'excès de nutriments, des sels et des pathogènes présents dans le sol peut entraîner la dégradation des eaux souterraines. Toutefois, l'impact réel dépendra d'un ensemble de facteurs, et notamment l'ampleur de l'utilisation des eaux usées, la qualité des eaux souterraines, la profondeur de la nappe phréatique, le drainage du sol et les caractéristiques du sol (par exemple poreux, sablonneux). Dans les zones irriguées par des nappes d'eaux souterraines peu profondes, l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées de façon inadéquate sur la qualité des eaux souterraines est susceptible d'être considérable.

**Eaux de surface :** lorsque les eaux de ruissellement provenant de systèmes d'irrigation des eaux usées s'écoulent dans les eaux de surface, en particulier les petits lacs et autres plans d'eaux confinés, les restes de nutriments peuvent provoquer une eutrophisation, particulièrement en cas de présence de phosphates sous forme d'orthophosphate. Les déséquilibres dans les communautés végétales et microbiologiques des plans d'eau peuvent à leur tour affecter d'autres formes supérieures de vie aquatique et réduire la biodiversité. Si ces plans d'eau desservent les collectivités locales, les impacts écologiques peuvent entraîner des impacts économiques.

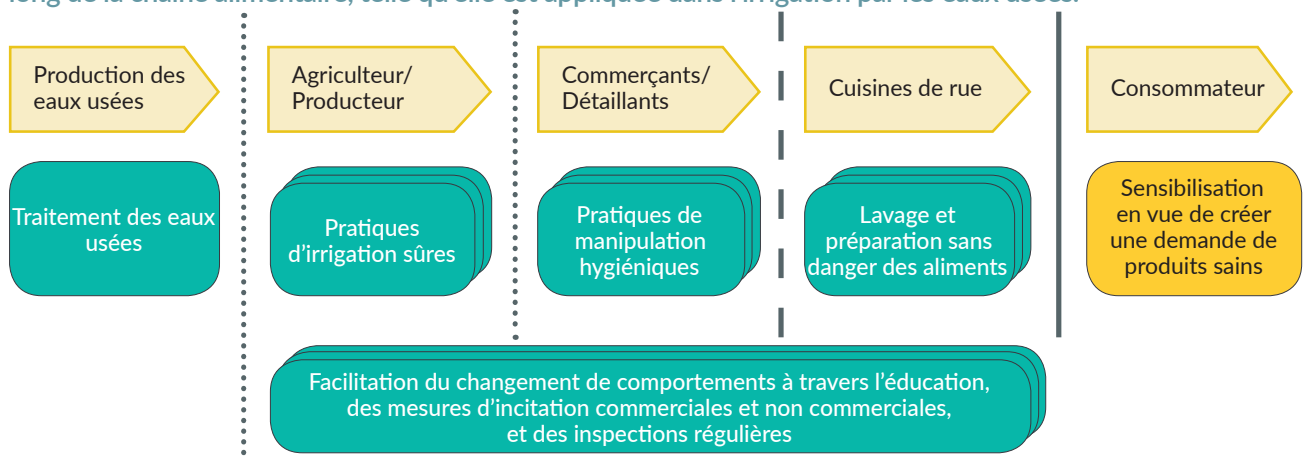
## La perspective à barrières multiples va au-delà de la qualité de l'eau d'irrigation pour traiter également les problèmes de contamination post-récolte en plaçant les obstacles aux points de contrôle critiques le long de la chaîne de production alimentaire

### ENCADRÉ 7.1 UNE APPROCHE À BARRIÈRES MULTIPLES VISANT À RÉDUIRE LES RISQUES POUR LA SANTÉ LIÉS À L'IRRIGATION DES EAUX USÉES.

Les Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture (WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture) (OMS, 2006a) définissent un programme complet d'évaluation et de gestion des risques en vue de protéger la santé publique, dans l'optique de maximiser les avantages d'une réutilisation sans risque de l'eau pour la santé (OMS, 2010). Le manuel de planification de la sécurité de l'assainissement (OMS, 2016b) fournit des conseils étape par étape pour la mise en œuvre de l'approche d'évaluation et de gestion des risques.

La perspective à barrières multiples va au-delà de la qualité de l'eau d'irrigation pour traiter également les problèmes de contamination post-récolte en plaçant les obstacles aux points de contrôle critiques le long de la chaîne de production alimentaire (voir figure 7.1a). Ces barrières visent à réduire au minimum les risques et peuvent être collectivement efficaces même si l'une s'avère défectueuse. Cette approche est appliquée aussi bien

**Figure 7.1a** L'approche à barrières multiples pour la réduction des risques liés à la consommation tout au long de la chaîne alimentaire, telle qu'elle est appliquée dans l'irrigation par les eaux usées.



Source : Amoah et al. (2011, fig. 1, p. 3).

dans les pays à faible revenu, où l'irrigation par les eaux usées non traitées est courante et le traitement des eaux usées limité, que dans les pays développés ayant adopté les principes d'analyse des risques et de maîtrise des points critiques (HACCP) (Ilic et al., 2010).

L'approche a été mise en œuvre en Jordanie, où l'utilisation planifiée des eaux usées est encouragée depuis 1977 et où plus de 90 % des eaux usées traitées sont actuellement utilisées pour l'irrigation. Pour faire face à des préoccupations de santé et des capacités de surveillance limitées, les autorités jordaniennes ont introduit en 2014 des directives nationales sur la qualité de l'eau et l'irrigation. Dans le cadre de la Stratégie nationale sur l'eau 2016-2025, les directives nationales s'appuient sur l'approche plus souple d'un objectif sanitaire décrite dans les Directives 2006 de l'OMS (MWI, 2016a).

Contribution de l'OMS.



# CHAPITRE 8

PNUE | Birguy M. Lamizana-Diallo et Carla Friedrich

**Avec la contribution de :** Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; Javier Mateo-Sagasta et Mathew MacCartney (IWMI) ; Maite M. Aldaya (Observatoire de l'eau, Fondation Botín et Université publique de Navarre) ; et Paul Quedraogo (Convention de Ramsar)

# ÉCOSYSTÈMES



Terres humides de traitement du trop-plein des égouts unitaires à Washington dans l'Indiana (États-Unis) conçues par le Groupe Lochmüller

Ce chapitre examine le rôle des écosystèmes dans la gestion des eaux usées et l'utilisation des eaux usées pour améliorer les services écosystémiques.

Lorsqu'elles sont mal gérées, les eaux usées peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes. Toutefois, il existe de nombreuses possibilités de créer des synergies entre les services écosystémiques et la gestion des eaux usées. Ces interactions peuvent être examinées sous deux angles. Tout d'abord, les services écosystémiques peuvent contribuer à l'assainissement des eaux usées comme solution de rechange ou en supplément des systèmes classiques de traitement de l'eau. Le processus de purification de l'eau assuré par les écosystèmes aquatiques et terrestres peut fournir de l'eau potable pour la boisson, l'industrie, les loisirs et l'habitat de la faune sauvage. De plus, les ressources intégrées dans les eaux usées — dont l'eau, les nutriments et le carbone organique — peuvent être utilisées dans des circonstances appropriées pour le rajeunissement et l'assainissement de l'écosystème, l'amélioration des services écosystémiques, avec des bénéfices majeurs pour les économies et les sociétés.

### 8.1 Le rôle et les limites des écosystèmes dans la gestion des eaux usées

Il existe un lien évident entre la gestion durable des eaux usées et des écosystèmes sains, et si cette relation est bien gérée, elle peut être mutuellement bénéfique. Les infrastructures vertes (IV) désignent

les écosystèmes naturels (par exemple les zones tampons riveraines, les terres humides et les mangroves) ou semi-naturels (par exemple les terres humides artificielles, les jardins pluviaux, les étangs de biorétention), qui peuvent fournir des services tels que la filtration des sédiments et la dépollution, comparables à certaines fonctions des infrastructures grises (par exemple les systèmes classiques de canalisations d'évacuation et de traitement de l'eau). L'approche IV repose sur la prestation de services écosystémiques pour fournir des avantages liés à la gestion de l'eau primaire et des eaux usées, associés à un large éventail d'avantages secondaires (par exemple la séquestration du carbone, la protection de la biodiversité, les loisirs), d'une façon rentable et durable (PNUE-DHI/UICN/TNC/WRI, 2014). La protection et la restauration de ces avantages des systèmes IV profitent à la société humaine et contribuent à la santé des écosystèmes.

Les zones tampons sont des zones de végétation situées à proximité de ressources en eau qui agissent comme des filtres et protègent la qualité de l'eau, tout en assurant la stabilisation des berges et des habitats aquatiques et de la faune sauvage (voir tableau 8.1) (Lowrance et al., 1995).

Les écosystèmes naturels sont connus comme les reins de l'environnement, chargés d'éliminer les polluants (voir encadré 8.1), de réguler le débit des eaux et de stocker les sédiments. Ils

**Tableau 8.1** Effets de l'aménagement de zones riveraines tampons de différentes tailles sur la réduction des sédiments et nutriments des eaux de ruissellement de surface

| Largeur de la zone tampon (m) | Type de zone tampon | Sédiment       |                |               | Azote          |                |               | Phosphore      |                |               |
|-------------------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|                               |                     | Intrant (mg/l) | Extrant (mg/l) | Réduction (%) | Intrant (mg/l) | Extrant (mg/l) | Réduction (%) | Intrant (mg/l) | Extrant (mg/l) | Réduction (%) |
| 4,6                           | Herbage             | 7 284          | 2 841          | 61,0          | 14,1           | 13,6           | 4,0           | 11,3           | 8,1            | 28,5          |
| 9,2                           | Herbage             | 7 284          | 1 852          | 74,6          | 14,1           | 10,9           | 22,7          | 11,3           | 8,6            | 24,2          |
| 19,0                          | Forêt               | 6 480          | 661            | 89,8          | 27,6           | 7,1            | 74,3          | 5,0            | 1,5            | 70,0          |
| 23,6                          | Herbage/Forêt       | 7 284          | 290            | 96,0          | 14,1           | 3,5            | 75,3          | 11,3           | 2,4            | 78,5          |
| 28,2                          | Herbage/Forêt       | 7 284          | 188            | 97,4          | 14,1           | 2,8            | 80,1          | 11,3           | 2,6            | 77,2          |

Source : Lowrance et al. (1995, tableau 6, p. 30).

**Les eaux usées, lorsqu'elles sont mal gérées, peuvent avoir des effets néfastes sur les écosystèmes. Toutefois, il existe de nombreuses possibilités de créer des synergies entre les services écosystémiques et la gestion des eaux usées**

peuvent être très efficaces et économiques dans la fourniture des services de traitement des eaux usées, à condition que ces écosystèmes soient en bonne santé, que la charge de polluants (et les types de contaminants) dans l'effluent soit réglementée, et que la capacité de l'écosystème à assimiler la pollution ne soit pas dépassée. Il existe des limites naturelles à la capacité d'assimilation des écosystèmes, au-delà desquelles elles sont menacées et ne peuvent plus jouer un rôle de purification. Une fois que la concentration des contaminants dans les eaux de ruissellement atteint des seuils critiques, il y a un risque de changement brusque et irréversible pour l'environnement (Steffen et al., 2015).

Les systèmes de marais et d'étangs artificiels sont reconnus comme étant une technologie fiable de traitement des eaux usées (voir encadré 8.2). Dans ces systèmes, la végétation plantée augmente considérablement la surface de contact, ce qui aide à éliminer les contaminants le long du lit du filtre généralement constitué d'une combinaison de sable et de gravier.

## 8.2 Utilisation planifiée des eaux usées pour les services écosystémiques

La récupération et la réutilisation de l'eau ne sont plus un luxe mais une nécessité, en particulier dans les pays pauvres en eau, où de nombreuses villes et organismes de protection de l'environnement utilisent déjà les eaux usées partiellement traitées pour créer des lacs ou marais artificiels, restaurer les eaux souterraines appauvries ou irriguer les parcours de golf, les parcs et les jardins (voir tableau 8.2). Outre l'irrigation des espaces verts, l'eau recyclée est utilisée pour gérer les zones humides naturelles en Espagne et au Mexique (Otoo et al., 2015) afin de garantir

### ENCADRÉ 8.1 LE MARAIS DE NAKIVUBO : UN RÉCEPTACLE POUR L'ESSENTIEL DES EAUX USÉES DOMESTIQUES ET INDUSTRIELLES DE KAMPALA (OUGANDA)

Le marais de Nakivubo reçoit directement des eaux usées non traitées provenant d'environ 100 000 foyers et de plusieurs industries de Kampala, qui ne sont pas desservies par le système d'égout principal. La zone humide de 5,3 km<sup>2</sup> reçoit également les effluents de la principale station d'épuration de la ville.

La baie de Murchison et le lac Victoria sont protégés contre les effets des eaux usées par le marais, qui joue un rôle de purification. Étant donné que le point de prélèvement pour l'approvisionnement en eau de Kampala se trouve à seulement 3 km de la zone humide du principal canal de sortie, cette protection est vitale. La valeur économique des services de purification de l'eau du marais de Nakivubo a été estimée entre 980 000 et 1 808 000 dollars américains par an, les autres avantages connexes supplémentaires s'élevant à 200 000 dollars par an, tirés de la culture de plantes, la récolte de papyrus, la fabrication de briques et la pisciculture (De Groot et al., 2006).

*Contribution de Paul Ouedraogo (Convention de Ramsar).*

que les niveaux d'eau restent réguliers même en période de sécheresse.

L'utilisation planifiée d'eaux usées traitées entièrement ou partiellement pour les services écosystémiques est relativement récente, ce qui peut accroître l'efficacité des ressources et fournir des avantages pour les écosystèmes à travers :

- La réduction des prélèvements d'eau douce ;
- Le recyclage et la réutilisation des nutriments essentiels, ce qui réduit ainsi l'utilisation d'engrais et les émissions de gaz à effet de serre ;
- La réduction de la pollution de l'eau et le maintien de la qualité de l'eau des fleuves à un niveau suffisant pour permettre l'épanouissement des ressources halieutiques et autres écosystèmes aquatiques ; et
- La recharge des aquifères appauvris pour diverses utilisations bénéfiques, telles que la réutilisation indirecte d'eau rendue potable (voir les paragraphes 16.1.2 et 16.1.5).



**Tableau 8.2 Exemples d'utilisation des eaux usées traitées pour appuyer les services écosystémiques**

| Nom du projet de réutilisation                        | Pays    | Type de réutilisation de l'eau               | Facteurs déterminants de la réutilisation de l'eau                                               | But de la réutilisation de l'eau                                | Technologie de traitement des eaux usées                                                             |
|-------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Usine de traitement des eaux usées de Marrakech       | Maroc   | Verdissement des paysages                    | Économies en coût de l'eau ; insuffisance des ressources en eau alternatives                     | Irrigation des espaces verts ; recharge des nappes souterraines | Microfiltration ; osmose inverse                                                                     |
| Projet de récupération des eaux usées de Sulaibiya    | Koweït  |                                              |                                                                                                  |                                                                 |                                                                                                      |
| Usine de récupération de l'eau de Quighe et BeiXiaoHe | Chine   |                                              |                                                                                                  |                                                                 |                                                                                                      |
| Projet des trois rivières de la région de Jonan       | Japon   | Restauration des zones humides et réservoirs | Tariement des ressources naturelles en eau : restauration de voies d'eau, de lacs et de rivières | Restauration des voies d'eau et des cours d'eau                 | Boues activées ; filtration sur sable ; traitement avancé avec processus d'élimination de nutriments |
| Lac Texcoco                                           | Mexique |                                              |                                                                                                  |                                                                 |                                                                                                      |

Source : adapté de Otoo et al. (2015, tableau 10.2, pp. 177-180).

### ENCADRÉ 8.2 MARAIS ARTIFICIELS AMÉNAGÉS POUR LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES, INDIANA, ÉTATS-UNIS

À Washington dans l'Indiana aux États-Unis, les trop-pleins d'égouts unitaires (TPEU) contaminaient régulièrement les cours d'eau locaux. La ville a construit un marais artificiel pour le traitement des eaux usées qui a permis à la ville d'économiser plus de 26 millions de dollars américains par rapport au coût estimatif de la construction d'un système conventionnel de traitement, ainsi que 1,6 million de dollars américains par an en coûts d'exploitation. L'eau rejetée par le système de marais artificiels a surpassé les normes relatives à la qualité de l'eau pour l'usine de traitement des eaux usées de la ville et la faune est revenue dans les voies navigables locales depuis la construction du système.

Source : PR Newswire (2013) ; PNUE-DHI/IUCN/TNC/WRI (2014) ; et City of Washington, personal communication (2016).

### ENCADRÉ 8.3 OASIS DE LOISIRS CRÉÉE À PARTIR DES EAUX USÉES TRAITÉES À LIMA, PÉROU

Dans une ville de poussière et de sable, des parcs et jardins peuvent influencer positivement sur le bien-être humain. Le parc Huascar, un parc récréatif polyvalent, reçoit son eau de l'une des 15 usines de traitement des eaux usées de Lima. Le parc Huascar combine le traitement des eaux usées et un parc public, ce qui crée une situation de gain mutuel dans la mesure où il permet d'optimiser la récupération des ressources dans une zone urbaine et présente des avantages pour les écosystèmes. Les eaux usées partiellement traitées fournissent au parc de l'eau et certains nutriments, lesquels sont extrêmement précieux dans la ville de Lima, dont les sols sont faibles en humidité et en fertilité. Elles permettent également de préserver l'eau douce pour d'autres fins et d'améliorer la disponibilité des nutriments dans les sols pour la végétation, créant ainsi une « oasis » de loisirs en plein cœur de la capitale péruvienne.

Il s'agit d'un important service écosystémique local étant donné que l'espace vert offre aux visiteurs du parc un environnement propice pour la détente et les loisirs, contribuant ainsi à leur santé physique et mentale.

Contribution de Manzoor Qadir (UNU-INWEH).



**Les gouvernements et les entreprises mettent généralement l'accent sur le respect des normes d'émission, à savoir les normes relatives aux effluents ou rejets, sans tenir compte des normes ambiantes du point de vue écosystémique**

Bien que l'évaluation de l'utilisation des eaux usées traitées pour les services écosystémiques révèle des avantages économiques et environnementaux (voir encadré 8.3), les marchés fonctionnels pour de nombreux services écosystémiques sont actuellement embryonnaires ou inexistantes (Qadir et al., 2015a).

En raison de la dégradation des habitats naturels des oiseaux aquatiques, les marais artificiels offrent une solution alternative légitime.

### 8.3 Aspects opérationnels et politiques

La réduction de la pollution causée par les rejets d'eaux usées non traitées et l'accroissement de l'utilisation des eaux usées traitées exigent des efforts concertés, qui doivent être fournis à travers des objectifs intégrés de gestion du cycle de vie complet de l'écosystème et d'efficacité dans l'utilisation des ressources. Il est également nécessaire d'adopter des politiques et approches qui reconnaissent les eaux usées comme une ressource et mettent en exergue le lien étroit entre les services écosystémiques et le bien-être humain.

Par ailleurs, la mise en œuvre de normes de qualité de l'eau ambiante est essentielle à la prévention des répercussions négatives sur l'environnement et la conservation des écosystèmes naturels. Les normes de

qualité de l'environnement se rapportent à la capacité des écosystèmes naturels à absorber ou assimiler la pollution de l'environnement. Elles se mesurent suivant le volume maximum admissible d'une substance dans un plan d'eau, exprimé sous forme de concentration. Étant donné que les normes environnementales peuvent être établies à différents niveaux pour différents sites, il est possible de les utiliser pour réduire la charge totale maximum et protéger les écosystèmes de grande valeur d'une manière qui serait impossible en utilisant le contrôle des émissions (Markandya et al., 2001) (voir encadré 8.4). Les normes de qualité ambiante de l'eau existent certes souvent dans la législation nationale, mais elles n'existent pas pour toutes les substances et tous les sites (Hoekstra et al., 2011). Lorsqu'elles existent, la capacité à les appliquer efficacement fait souvent défaut, en particulier dans les pays en développement (mais pas seulement).

#### ENCADRÉ 8.4 VALEUR AJOUTÉE DES NORMES DE QUALITÉ DE L'EAU AMBIANTE PAR RAPPORT AUX NORMES D'ÉMISSION

Les gouvernements et les entreprises mettent généralement l'accent sur le respect des normes d'émission, à savoir les normes relatives aux effluents ou rejets, sans tenir compte des normes ambiantes du point de vue écosystémique. C'est une chose que de respecter les normes d'émission, mais c'en est une autre que de s'intéresser à la façon dont les effluents influencent la capacité d'assimilation des plans d'eau. Respecter des normes relatives aux effluents, en termes de concentration de produits chimiques dans l'effluent, peut s'effectuer simplement en utilisant plus d'eau pour diluer l'effluent avant l'élimination, ce qui pourrait être utile pour répondre aux normes relatives aux effluents. Toutefois, cela ne réduit pas la charge totale de produits chimiques ajoutés à l'environnement et l'incidence qui en résulte sur les écosystèmes, sans oublier l'augmentation de l'utilisation globale des ressources en eau.

Source : Hoekstra et al. (2011).

Contribution de Maite M. Aldaya (Observatoire de l'eau, Fondation Botín et Université publique de Navarre).

# TROISIÈME PARTIE

## ASPECTS RÉGIONAUX

**Chapitre 9** | Afrique

**Chapitre 10** | Pays arabes

**Chapitre 11** | Asie et Pacifique

**Chapitre 12** | Europe et  
Amérique du Nord

**Chapitre 13** | Amérique latine  
et Caraïbes



# CHAPITRE 9

Bureau régional multisectoriel de l'UNESCO à Abuja | Simone Grego et Oladele Osibanjo

# AFRIQUE





*Ce chapitre examine les importants défis que représente la croissance rapide des établissements urbains en Afrique et les opportunités qu'offre l'utilisation des eaux usées.*

## 9.1 L'eau et les eaux usées en Afrique subsaharienne

L'Afrique héberge 15 % de la population mondiale, mais ne dispose que de 9 % des ressources en eau renouvelables, réparties de manière inégale dans l'ensemble de la région (Wang et al., 2014). L'écart entre la disponibilité et la demande en eau se creuse rapidement, surtout dans les villes, où la population urbaine devrait quasiment quadrupler d'ici 2037 (Banque mondiale, 2012). L'amélioration des conditions de vie et l'évolution des modes de consommation participent de cette croissance de la demande en eau. D'autre part, les disponibilités en eau diminuent, en raison des besoins concurrents des secteurs agricole, minier et industriel et de la détérioration de la qualité de l'eau. Les eaux souterraines représentent pour de nombreuses personnes la source d'approvisionnement principale ou une source alternative, mais la pollution et la surexploitation menacent ces ressources (Banque mondiale, 2012).

En Afrique subsaharienne, sur plus d'un milliard de personnes, 319 millions n'ont toujours pas accès à des sources d'eau potable améliorées. Pour ce qui est de l'assainissement, la situation est encore moins réjouissante puisque 695 millions de personnes ne disposent pas d'installations sanitaires de base, et que pas un seul pays subsaharien n'a atteint la cible des OMD concernant l'assainissement (UNICEF/OMS, 2015).

L'extraction minière, l'industrie du pétrole et du gaz, l'exploitation forestière et le secteur manufacturier constituent les industries principales dans la région. Elles génèrent toutes des eaux usées qui sont souvent rejetées dans l'environnement avec un traitement minimal, ou aucun traitement. Au Nigéria, par exemple, on estime que moins de 10 % des industries traitent leurs effluents avant de les rejeter dans les eaux de surface (Taiwo et al., 2012 ; Ebiare et Zejiao, 2010). Par ailleurs, là où l'on trouve des bassins de

stabilisation, les concentrations de polluants relevées dans les effluents sont parfois cinq fois plus élevées qu'en Europe (Li et al., 2011).

Les eaux de ruissellement agricole, qui contiennent des produits agrochimiques ainsi que des déchets végétaux et des résidus d'élevage, représentent une des sources de pollution des masses d'eau. Un lien a, par exemple, été établi entre l'eutrophisation régulière du réservoir d'Oyun à Offa, dans l'État de Kwara (Nigéria), et les ruissellements d'engrais phosphatés provenant des fermes avoisinantes et de déjections bovines se déversant du bassin versant dans le réservoir (Mustapha, 2008).

Dans la plupart des villes africaines, les eaux de pluie entraînent les ordures ménagères à l'état solide et d'autres substances polluantes dans des systèmes d'évacuation rudimentaires, puis dans les rivières avoisinantes (cf. Taiwo, 2011) et les nappes souterraines. Cette situation est encore aggravée par l'application insuffisante et le non-respect des réglementations et principes d'urbanisme (Osibanjo et Majolagbe, 2012).

Bien que les eaux usées d'origine industrielle et agricole soient des sources de pollution avérées dans la région, le présent chapitre porte plus particulièrement sur les eaux usées urbaines, car cette question est essentielle au regard des nouvelles possibilités qu'une meilleure gestion pourrait offrir, dans un contexte d'urbanisation de plus en plus rapide.

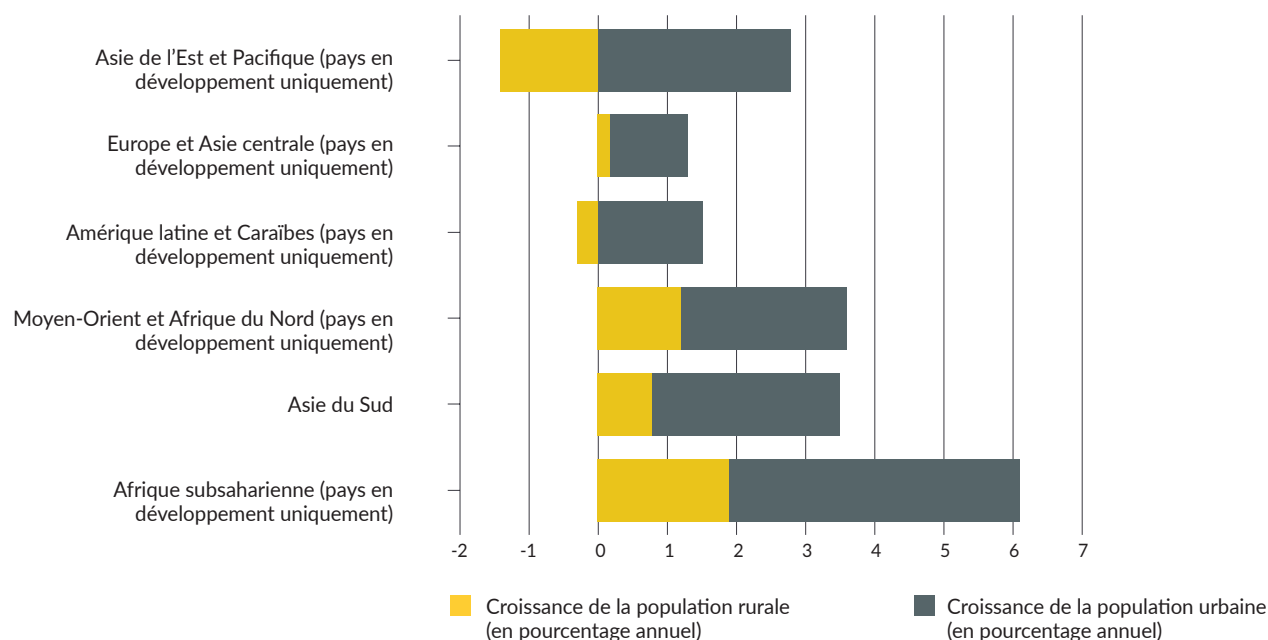
## 9.2 Défis majeurs

### 9.2.1 Établissements urbains

L'une des principales difficultés auxquelles est confrontée l'Afrique en matière d'eaux usées est l'insuffisance générale des infrastructures dédiées à la collecte et au traitement. Conjuguée à de fortes charges organiques, une absence de contrôle en matière d'apport de déchets, des coupures de courant, des débits d'eaux usées croissants, des coûts énergétiques élevés et un manque de réinvestissements



**Figure 9.1** Population urbaine et rurale (croissance annuelle en pourcentage), 2013



Source : À partir des données de la Banque mondiale (s.d.).

(Nikiema et al., 2013), cette carence aboutit à la pollution des ressources, déjà limitées, des eaux de surface et souterraines.

En milieu urbain, la collecte des eaux usées est souvent limitée et le raccordement des habitations et installations au réseau d'assainissement municipal insuffisant. Lorsque des infrastructures existent, l'efficacité du processus de traitement est considérablement limitée par une exploitation déficiente, une maintenance insuffisante et un manque de personnel qualifié, ce qui explique la forte concentration de polluants observée dans l'environnement.

Dans les systèmes d'adduction d'eau existants, l'absence de soutien financier durable nuit à la maintenance et la modernisation des installations de traitement, et à l'acquisition et l'utilisation des instruments de contrôle adéquats (Wang et al., 2014 ; Nikiema et al., 2013). À Addis-Abeba, par exemple, la station de traitement de Kaliti, initialement conçue pour desservir 50 000 usagers, en desservait moins de 13 000, ce qui a été attribué à un manque d'investissements en faveur du raccordement des habitations au réseau d'évacuation des eaux usées, ayant conduit à un faible taux de raccordements. On estime qu'en 2009, moins de 3 % des eaux usées générées par la ville sont parvenues jusqu'à des installations de traitement (Abiye et al., 2009).

Le manque de capacités pour le suivi des eaux usées avant et après le traitement constitue pour les pays africains un autre obstacle en matière de gestion des eaux usées. Une récente étude de l'UNESCO (UNESCO, 2016a) indique par exemple qu'au Nigéria, seuls quelques laboratoires sont en mesure d'identifier les polluants émergents.

### 9.2.2 Besoins en matière de gouvernance et de données

La mauvaise gouvernance, notamment les politiques et les institutions inefficaces, la non-application des lois et la corruption, ainsi que le manque d'infrastructures et l'insuffisance des investissements dans les ressources humaines, contribuent à la persistance des difficultés liées à l'eau et aux eaux usées (PNUE, 2010).

Le manque de données relatives aux eaux usées constitue un problème essentiel et rend difficilement possible l'élaboration de politiques adéquates en faveur de la qualité de l'eau. En Afrique subsaharienne, peu de données quantitatives sont disponibles concernant la production, le traitement, l'utilisation et la qualité des eaux usées. Seuls le Sénégal, les Seychelles et l'Afrique du Sud disposent d'informations détaillées, et les données se rapportant aux Seychelles et à l'Afrique du Sud remontent au début des années 2000 (Sato et al., 2013).

**Figure 9.2** Difficultés en matière de gestion de l'eau en milieu urbain par rapport aux capacités institutionnelles et économiques des villes



Source : Banque mondiale (2012, Fig. 1, p. 5).

\* Notes : abréviations : ABJ, Abidjan, Côte d'Ivoire ; ABV, Abuja, Nigéria ; ACC, Accra, Ghana ; ADD, Addis-Abeba, Éthiopie ; BLZ, Blantyre, Malawi ; BZV, Brazzaville, Congo ; CKY, Conakry, Guinée ; COO, Cotonou, Bénin ; CPT, Le Cap, Afrique du Sud ; DAK, Dakar, Sénégal ; DLA, Douala, Cameroun ; DSM, Dar es Salam, Tanzanie ; DUR, Durban, Afrique du Sud ; HRE, Harare, Zimbabwe ; IBA, Ibadan, Nigéria ; JHB, Johannesburg, Afrique du Sud ; KAN, Kano, Nigéria ; KIN, Kinshasa, RDC ; KMS, Kumasi, Ghana ; KRT, Khartoum, Soudan ; LLW, Lilongwe, Malawi ; LAD, Luanda, Angola ; LOS, Lagos, Nigéria ; LUN, Lusaka, Zambie ; MBU, Mbuji-Mayi, RDC ; MPM, Maputo, Mozambique ; NBO, Nairobi, Kenya ; OUA, Ouagadougou, Burkina Faso ; YAO, Yaoundé, Cameroun.

\*\* Note sur la méthodologie : cette illustration repose sur un indice qui classe les villes selon deux aspects : d'une part, les difficultés qu'elles rencontrent dans le domaine de l'eau, et d'autre part les capacités économiques et institutionnelles dont elles disposent. Pour chaque aspect, un certain nombre de variables ont été retenues, pour lesquelles des indicateurs ont ensuite été définis. S'agissant des difficultés dans le domaine de l'eau, les indicateurs ont été choisis en fonction des variables suivantes : problèmes liés à l'urbanisation, gestion des déchets solides, services d'approvisionnement en eau, services d'assainissement, risques d'inondations et accès aux ressources hydriques. Pour ce qui est des capacités institutionnelles et économiques, les indicateurs ont été choisis en fonction des variables suivantes : politiques et institutions nationales, solidarité économique, institutions du secteur de l'eau, gouvernance des opérateurs des réseaux de distribution et d'assainissement. Les indicateurs ayant été normalisés, les valeurs varient de 0 à 1. Ils ne sont pas pondérés et ont été regroupés pour chaque critère.

En outre, les lois et règlements établis dans le secteur de l'eau par les différents échelons du gouvernement ne tiennent généralement pas compte des eaux usées. Au Nigéria, par exemple, la législation fédérale et celle des États font peu ou pas du tout mention de la question (Ajiboye et al., 2012 ; Goldface-Irokalibe, 1999 et 2002 ; Goldface-Irokabile et al., 2001). L'application de la réglementation (en ce qui concerne par exemple les usines raccordées au réseau d'assainissement) est quasi inexistante dans la plupart des pays, ce qui a une incidence directe sur la qualité de l'eau en aval.

### 9.2.3 Urbanisation rapide

En 2013, le taux de croissance annuel de la population urbaine (voir figure 9.1) des pays en développement d'Afrique subsaharienne (6 %) était trois fois plus élevé que celui de la population rurale (2 %). La proportion de personnes vivant en milieux urbains en Afrique devrait passer de 40 % à 45 % entre 2015 et 2025 (DAES, 2014). Ces chiffres laissent penser qu'il y aura probablement une augmentation considérable de la production d'eaux usées dans les villes africaines (Banque mondiale, 2012).

Les villes africaines se développent rapidement, mais leurs systèmes actuels de gestion de l'eau ne sont pas en mesure de faire face aux besoins croissants. On estime que la moitié des infrastructures urbaines sur lesquelles reposeront les villes africaines d'ici 2035 restent à construire (Banque mondiale, 2012). Ce scénario pose de nombreux défis, et en même temps il offre des opportunités pour s'affranchir des méthodes de gestion de l'eau (inefficaces) du passé et adopter des solutions innovantes en la matière, telles que la gestion intégrée de l'eau en ville (GIEV), qui

**L'écart entre la disponibilité et la demande en eau se creuse rapidement, surtout dans les villes, où la population urbaine devrait quasiment quadrupler d'ici 2037**

#### ENCADRÉ 9.1 UTILISATION DES EAUX USÉES À KUMASI ET ACCRA (GHANA)

Le Ghana constitue un bon exemple d'agriculture urbaine et périurbaine qui se développe au moyen d'une irrigation informelle avec des eaux usées non traitées provenant de cours d'eau ou de drains. À Kumasi et Accra, où les stations de traitement principales fonctionnent à peine, les eaux usées servent très souvent à irriguer les cultures. Cette pratique, qui n'est pas rare dans les centres urbains de nombreux pays africains, permet de nourrir la population, est une source d'emplois et atténue le niveau de pauvreté de nombreux Ghanéens, tout en contribuant à préserver les ressources en eau douce.

À Accra, les cultivateurs ont recours aux eaux usées non traitées pour irriguer plus de 15 espèces de légumes. Les tailles des parcelles urbaines varient entre 22 et 3 000 m<sup>2</sup> par exploitant. Le maraîchage irrigué tout au long de l'année peut assurer à chaque exploitant un revenu annuel moyen de l'ordre de 400 à 800 dollars américains. On estime que la valeur marchande annuelle de la production s'élève à 14 millions de dollars américains et que près de 200 000 citoyens de toutes classes sociales en bénéficient. À Kumasi, les terres ainsi cultivées sont estimées couvrir 115 km<sup>2</sup>, ce qui représente deux fois la surface totale signalée au titre de l'irrigation formelle dans le pays tout entier.

Les préoccupations en matière de santé publique existent cependant, notamment en ce qui concerne la contamination microbienne de ces denrées agricoles. Des analyses de légumes vendus sur les marchés ont, en effet, révélé la présence de coliformes fécaux et d'œufs d'helminthes (Keraita et Drechsel, 2004).

Source : Bahri et al. (2008).

consiste notamment à avoir recours aux eaux usées traitées afin de satisfaire les besoins de plus en plus importants en eau.

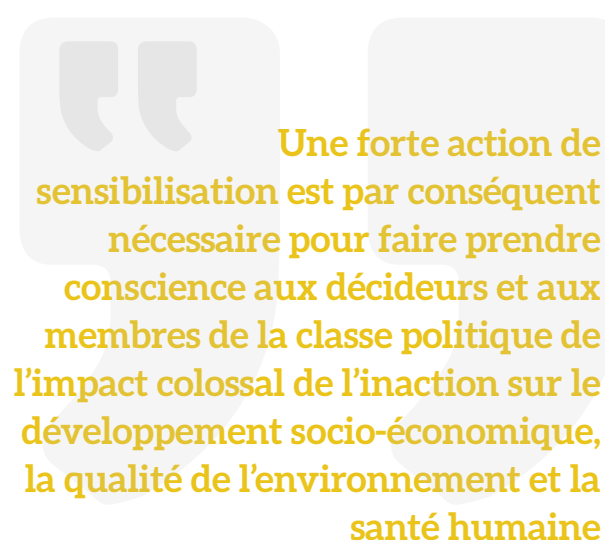
Les capacités limitées sur le plan humain, financier et institutionnel en matière de gestion de l'eau posent des problèmes aux villes africaines. Bien que les principales difficultés en terme d'ampleur se rencontrent dans les grandes villes, ces dernières sont aussi comparativement mieux placées en termes de capacités institutionnelle et économique (voir figure 9.2) pour faire face à ces problèmes en ayant recours à des économies d'échelle. La plupart des villes de taille plus modeste ne bénéficient pas de cet avantage et doivent à l'évidence miser sur le renforcement des capacités pour pouvoir améliorer leurs systèmes de gestion de l'eau et des eaux usées.

## 9.3 Les perspectives d'avenir

### 9.3.1 Utilisation des eaux usées dans les fermes urbaines et périurbaines

La valeur des eaux usées en tant que ressource inexploitée est largement reconnue, même si bon nombre de pays africains sont dépourvus de politiques nationales réglementant la réutilisation de l'eau. De nombreux cultivateurs urbains et périurbains abandonnent l'irrigation à l'eau douce traditionnelle au profit de l'irrigation avec des eaux usées. C'est ce qu'illustre bien l'activité d'irrigation par des eaux usées non traitées menée à Kumasi et Accra, au Ghana (voir encadré 9.1) dans le cadre de laquelle les eaux usées sont utilisées pour irriguer les cultures et produire des légumes. Bien que cela représente une opportunité sur le plan économique, tout en améliorant les conditions de vie de certains, les incidences sur la santé sont réelles pour les consommateurs comme pour les cultivateurs (Keraita et Drechsel, 2004 ; Drechsel et al., 2010).

Dans la région, les exemples de récupération des boues à des fins agricoles sont nombreux : cela représente pour les cultivateurs une occasion d'améliorer leurs moyens de subsistance tout en contribuant à réduire la quantité de boues rejetées dans l'environnement. Une usine de compostage pilote a été mise sur pied à Kumasi, au Ghana, et ses activités ont fait l'objet d'un suivi sur une période de 12 mois (Mensah et al., 2003). Les résultats positifs, parmi lesquels le fait que les cultivateurs acceptent d'avoir recours au compost en tant qu'engrais, indiquent que la récupération des nutriments contenus dans les boues représente une solution viable pour réduire l'impact des eaux usées sur la qualité de l'eau et ainsi renforcer les moyens de subsistance des cultivateurs des zones urbaines et périurbaines.



**Une forte action de sensibilisation est par conséquent nécessaire pour faire prendre conscience aux décideurs et aux membres de la classe politique de l'impact colossal de l'inaction sur le développement socio-économique, la qualité de l'environnement et la santé humaine**

### 9.3.2 Utilisation des eaux usées traitées

La Namibie et l'Afrique du Sud offrent deux bons exemples en matière d'utilisation des eaux usées, qui, lorsqu'elles sont traitées de façon appropriée, peuvent constituer des ressources en eau sans danger destinées à la consommation et à l'industrie. L'encadré 16.1 montre la façon dont l'eau est traitée à Windhoek, en Namibie, afin de satisfaire aux normes de qualité en matière d'eau potable, tandis que l'encadré 9.2 montre comment les eaux usées sont recyclées dans le secteur industriel.

### 9.3.3 Créer un environnement favorable aux changements positifs

L'Afrique subsaharienne est en mesure de faire face à la forte demande en eau prévue d'ici 2030 et de réaliser l'ODD 6 à condition de se confronter sans attendre aux difficultés qui se posent dans le domaine de l'eau, et de saisir les opportunités qu'offre une meilleure gestion des eaux usées. Il sera, pour ce faire, nécessaire de disposer d'une meilleure structure de gouvernance, d'institutions et de politiques efficaces, de meilleures infrastructures pour la collecte et le traitement des eaux usées, et d'une maintenance plus rigoureuse de ces dernières. Un renforcement accru des capacités humaines et institutionnelles en matière de traitement des eaux usées, le suivi et la gestion des données, un cadre réglementaire solide, et le suivi de son application et de son respect sont également indispensables.

Pour que les éléments susmentionnés se concrétisent avec succès, il est indispensable de faire preuve d'une réelle volonté politique. Une forte action de sensibilisation est par conséquent nécessaire pour faire prendre conscience aux décideurs et aux membres de la classe politique de l'impact colossal de l'inaction sur le développement socio-économique, la qualité de l'environnement et la santé humaine.



**La récupération des nutriments contenus dans les boues représente une solution viable pour réduire l'impact des eaux usées sur la qualité de l'eau et ainsi renforcer les moyens de subsistance des cultivateurs des zones urbaines et périurbaines**

Enfin, la mise en place de mécanismes financiers appropriés est aussi essentielle. Les investisseurs sont parfois réticents à l'idée de financer des projets d'infrastructure dans le secteur de l'eau, car ces derniers nécessitent un investissement initial important et se déroulent sur de longues périodes. Il convient par conséquent d'envisager, avec les gouvernements nationaux, différentes modalités de gestion des eaux usées, comme le paiement de redevances sur l'eau ou les eaux usées, la participation du secteur privé par le biais de l'investissement dans les technologies disponibles peu onéreuses et performantes, ou des partenariats public-privé (voir chapitre 15). Il convient de solliciter la participation des bailleurs de fonds en faveur des projets pilotes/de démonstration portant sur des modèles économiques/de prestation innovants, ainsi que des technologies de pointe rentables et performantes.

#### **ENCADRÉ 9.2 RECYCLAGE DES EAUX USÉES DANS LE DOMAINE DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE THERMIQUE (AFRIQUE DU SUD)**

Depuis 1980, l'Afrique du Sud fait figure de pionnière en matière de traitement et de recyclage en interne des eaux usées dans le secteur industriel. Cette pratique présente le double avantage de réduire la quantité d'effluents rejetés ainsi que la demande en la matière.

ESKOM est la principale compagnie publique d'électricité et l'une des plus importantes en Afrique du Sud. D'importantes quantités d'eau sont utilisées dans les centrales thermiques de l'arrière-pays, surtout à des fins de refroidissement, ce qui entraîne une importante production d'eau « de purge » (à savoir l'eau de vidange des installations de refroidissement). Cette eau ne peut être rejetée avant d'avoir été traitée du fait de son fort taux de salinité et de la présence de pathogènes et d'additifs chimiques.

Au début des années 1980, ESKOM a commencé à mettre en place des installations d'osmose inverse afin de traiter les eaux de purge. La centrale électrique de Lethabo à Sasolburg dans la province de l'État-Libre, est actuellement équipée d'une installation de ce type dotée d'une capacité de 12 millions de litres par jour. Une partie de l'eau épurée est renvoyée vers le circuit d'eau de refroidissement concentré, tandis qu'une autre sert d'eau d'alimentation pour le processus d'échange d'ions, soit un autre processus de dessalement. L'eau issue de ce dernier processus, qui présente de très faibles taux de solides dissous totaux (SDT), est réutilisée dans la centrale.

*Source : Schutte (2008).*

# CHAPITRE 10

CESAO | Carol Chouchani Cherfane

Avec la contribution de : Ali Karnib (CESAO) et Manzoor Qadir (UNU-INWEH)

# PAYS ARABES



*Ce chapitre s'intéresse à la production, à la collecte et au traitement des eaux usées dans les pays arabes, en accordant une attention particulière aux cadres politiques destinés à promouvoir les différentes utilisations des eaux usées traitées.*

## 10.1 Contexte

Les pays arabes constituent la région la plus aride du monde, 18 d'entre eux, sur 22, se situant sous le seuil de pauvreté en eau fixé à 1 000 m<sup>3</sup> par habitant en 2014 (AQUASTAT, s.d.b.). L'utilisation des eaux usées traitées en toute sécurité est devenue un moyen d'accroître le niveau des ressources en eau de bon nombre de pays arabes, et figure à présent en bonne place dans les plans de gestion des ressources en eau au niveau régional et national.

L'accès à un assainissement amélioré est largement répandu dans les pays arabes, mais le raccordement aux réseaux d'assainissement et aux installations de traitement des eaux usées demeure plus restreint. La plupart des grands centres urbains sont dotés de réseaux d'égouts, mais les fosses septiques et d'aisance restent très répandues dans les pays les moins développés de la région (CESAO, 2013). Il est toutefois moins évident d'assurer la collecte et le traitement des eaux usées avec les systèmes d'assainissement hors réseaux, qui permettent aussi plus difficilement une gestion durable de la ressource que constituent les eaux usées dans la plupart des zones.

Au plan régional, le suivi et la remontée d'informations sur les services liés à l'eau, à l'assainissement et aux eaux usées sont effectués sous les auspices du Conseil des ministres arabes de l'eau par le biais de l'initiative OMD+. <sup>8</sup> Les données OMD+ présentées au tableau 10.1 montrent que pendant l'année 2013, 69 % des eaux usées collectées dans les pays arabes ont été traitées en toute sécurité, 46 % d'entre elles ayant subi un traitement secondaire et 23 %

un traitement tertiaire. En outre, 84 % de l'ensemble des eaux usées collectées dans les pays du Conseil de coopération du Golfe, où l'eau est rare, a bénéficié d'un traitement tertiaire, et 44 % du volume total des eaux traitées en toute sécurité a par la suite été utilisé. Au plan régional, 23 % des eaux usées traitées en toute sécurité ont été utilisées, essentiellement à des fins d'irrigation et de recharge des nappes souterraines.

## 10.2 Défis

### 10.2.1 Assurer les besoins en cas de déplacements de populations et d'inondations

L'approvisionnement en eau, l'assainissement et le traitement des eaux usées des réfugiés dans les camps, les établissements humains informels et les communautés d'accueil des pays arabes posent désormais un réel défi. La Jordanie abrite plus de 700 000 réfugiés recensés, en provenance d'Iraq et de Syrie, dont 90 % vivent en dehors des camps (HCR, 2016), tandis qu'au Liban, les infrastructures hydrauliques desservent difficilement 1,5 million de réfugiés, qui représentent l'équivalent du tiers de la population libanaise (OCHA, 2016). Les conflits et les déplacements de populations internes en Iraq, en Libye, en Palestine, en Somalie et en Syrie ont également mis à rude épreuve les capacités opérationnelles des installations de traitement des eaux usées, tout en contribuant à détériorer les réseaux d'égouts.

L'absence de systèmes de drainage des eaux de pluie et de recharge artificielle des eaux souterraines rend bien souvent les stations de traitement inopérantes en cas de fortes précipitations, dont l'ampleur et la fréquence augmentent en raison des changements climatiques. Les inondations ont entraîné ces dernières années des coûts et des dommages économiques et environnementaux pour les infrastructures, les biens et les zones protégées, comme par exemple dans l'archipel de Socotra, au Yémen et dans le Golfe arabe, ainsi que sur les côtes égyptiennes, libanaises et palestiniennes.

### 10.2.2 Eaux usées industrielles

La gestion des eaux usées industrielles coûte cher et porte à controverse dans la région. Les effluents biologiques et chimiques issus des industries du textile et du cuir en Égypte, au Maroc et dans les autres pays arabes ont une incidence sur les réserves d'eau souterraine et de surface, mais la fermeture de ces petites entreprises fait peser une menace sur les moyens de subsistance traditionnels. À plus grande échelle encore, la saumure rejetée par les stations

<sup>8</sup> L'initiative OMD+ est un projet régional intergouvernemental visant à collecter des données auprès des équipes de suivi nationales, lesquelles sont constituées du ministre en charge des services publics d'eau et d'assainissement ainsi que des services de statistiques de chaque pays arabe. Le projet recueille des données concernant l'accès aux services d'approvisionnement en eau, d'assainissement et de traitement des eaux usées dans la région. Les indicateurs relatifs aux eaux usées pris en compte dans le cadre de l'initiative OMD+ renseignent sur la quantité d'eaux usées traitées, par niveau, sur la quantité et l'usage des eaux usées traitées qui sont utilisées, ainsi que sur la tarification des services d'assainissement. Les méthodes de calcul des indicateurs de l'initiative OMD+ ainsi qu'une description détaillée à leur sujet sont proposées par la CESAO (2013).

## Au moins 11 États arabes sur 22 ont pris des dispositions législatives autorisant le recours aux eaux usées traitées

**Tableau 10.1** Volumes d'eaux usées collectées, traitées et utilisées (en millions de m<sup>3</sup> par an), 2013

| Pays                                         | Volume d'eaux usées collectées | Traitement primaire | Traitement secondaire | Traitement tertiaire | Volume d'eaux usées traitées en toute sécurité | Volume d'eaux usées traitées utilisées | Utilisation des eaux usées traitées (pourcentage des eaux usées traitées en toute sécurité) |
|----------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Conseil de coopération du Golfe (CCG)</b> |                                |                     |                       |                      |                                                |                                        |                                                                                             |
| Arabie saoudite                              | 1 317,2                        | 0                   | 580,2                 | 736,9                | 1 317,1                                        | 237,1                                  | 18                                                                                          |
| Bahreïn                                      | 122,8                          | 0                   | 0                     | 122,8                | 122,8                                          | 38,1                                   | 31                                                                                          |
| Émirats arabes unis                          | 615,7                          | 0,3                 | 11,7                  | 593,6                | 605,3                                          | 397,2                                  | 65,6                                                                                        |
| Koweït                                       | n. d.                          | 0                   | 58,0                  | 250,3                | 308,3                                          | 308,3                                  | 100                                                                                         |
| Oman                                         | 26,2                           | 0                   | 0                     | 26,2                 | 26,2                                           | 20,4                                   | 78                                                                                          |
| Qatar                                        | 176,8                          | 0                   | 0                     | 158,7                | 158,7                                          | 115,9                                  | 73                                                                                          |
| <b>Machreq</b>                               |                                |                     |                       |                      |                                                |                                        |                                                                                             |
| Égypte                                       | 3 030,4                        | 724,3               | 2 054,8               | 57,1                 | 2 111,9                                        | n.d.                                   | n. d.                                                                                       |
| Iraq*                                        | 620,4                          | 0                   | 415,7                 | 0                    | 415,7                                          | 0                                      | 0                                                                                           |
| Jordanie                                     | 130,8                          | 0                   | 130,8                 | 0                    | 130,8                                          | 113,3                                  | 87                                                                                          |
| Liban                                        | n.d.                           | n.d.                | n.d.                  | n.d.                 | n.d.                                           | n.d.                                   | n. d.                                                                                       |
| Palestine*                                   | 61,0                           | 0,3                 | 45,3                  | 0                    | 45,3                                           | 0                                      | 0                                                                                           |
| <b>Maghreb</b>                               |                                |                     |                       |                      |                                                |                                        |                                                                                             |
| Algérie                                      | 1 570,4                        | 0                   | 275,2                 | 0                    | 275,2                                          | 19,3                                   | 7                                                                                           |
| Libye*                                       | 291,1                          | 0                   | 45,8                  | 0                    | 45,8                                           | 14,7                                   | 32                                                                                          |
| Maroc                                        | 144,2                          | 38,2                | 0,1                   | 6,1                  | 6,2                                            | n.d.                                   | n. d.                                                                                       |
| Tunisie                                      | 235,0                          | 0                   | 222,0                 | 6,6                  | 228,6                                          | 60,0                                   | 26                                                                                          |
| <b>Pays les moins avancés (PMA)</b>          |                                |                     |                       |                      |                                                |                                        |                                                                                             |
| Mauritanie                                   | 0,65                           | 0                   | 0,65                  | 0                    | 0,65                                           | 0,12                                   | 18                                                                                          |
| Soudan                                       | 18,0                           | 18,0                | 0                     | 0                    | 0                                              | 0                                      | 0                                                                                           |
| Yémen*                                       | 159,4                          | 58,1                | 42,2                  | 22,0                 | 64,3                                           | n.d.                                   | n. d.                                                                                       |
| <b>TOTAL</b>                                 | <b>8 520,0</b>                 | <b>839,2</b>        | <b>3 882,5</b>        | <b>1 980,3</b>       | <b>5 562,8</b>                                 | <b>1 324,4</b>                         | <b>23</b>                                                                                   |

\* Données se rapportant à l'année 2012.

nd : non disponible.

Source : compilé à partir de données de la LEA, de la CESAO et de l'ACWUA (2016).

de dessalement contient des résidus chimiques qui nuisent aux écosystèmes côtiers. L'eau mélangée aux hydrocarbures remontant à la surface au cours de l'extraction du pétrole contamine les systèmes aquifères et dégrade les ressources terrestres.

### 10.2.3 Insuffisance de l'intégration et des investissements

Malgré les investissements dans les stations de traitement secondaires, bon nombre d'installations restent surchargées et génèrent des effluents de qualité insuffisante par rapport aux prescriptions, en raison de l'évolution des contraintes démographiques et du décalage entre la conception et la construction (CESAO,

2013). Les choix en matière d'investissements sont aussi bien souvent réalisés sans tenir compte du climat, chaud et aride, qui caractérise la région, alors que cela devrait être pris en considération, notamment pour le choix du type de traitement, aérobie ou anaérobie. Par ailleurs, les capacités techniques et les budgets nécessaires à l'exploitation et à l'entretien des stations de traitement secondaires et tertiaires restent encore insuffisants dans certains pays arabes. Cela limite les possibilités d'investissement et allonge les délais nécessaires pour qu'une station soit opérationnelle.

Compte tenu de la dynamique régionale, les plans directeurs en matière d'eaux usées peuvent rapidement devenir caducs (voir encadré 10.1). Les dispositions



institutionnelles relatives à la gestion des eaux usées manquent également parfois de clarté. On observe aussi souvent un manque de coordination entre les acteurs municipaux et nationaux chargés du développement des réseaux d'assainissement, les responsables de la gestion des ressources en eau et les compagnies de distribution d'eau chargées de l'exploitation des installations de traitement des eaux usées (voir chapitre 3).

## 10.3 Réponses

En 2011, le Conseil des ministres arabes de l'eau a adopté une stratégie et un plan d'action sur la sécurité de l'approvisionnement en eau dans lesquels étaient préconisés le développement des activités de dessalement et le recours aux eaux usées traitées et aux eaux de drainage d'origine agricole en tant que ressources en eau non conventionnelles susceptibles de compenser le déficit en eau des pays arabes (Conseil des ministres arabes de l'eau, 2011). Dans le même temps, le Conseil a lancé l'initiative OMD+ en vue d'instituer un suivi et de faire rapport sur les services d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'eaux usées dans les pays arabes, sur la base d'un ensemble d'indicateurs régionaux permettant d'évaluer l'eau et les eaux usées dans le contexte d'environnements souffrant des carences en eau (CESAO, 2013).

### 10.3.1 Cadres stratégiques

Au moins 11 États arabes sur 22 ont pris des dispositions législatives autorisant le recours aux eaux usées traitées, élaborées par les organismes nationaux chargés de l'utilisation des eaux usées et de leur évacuation, à savoir les ministères chargés de l'environnement au Koweït, au Liban ou à Oman, de la santé en Iraq, de l'agriculture en Tunisie, du logement en Égypte, où encore les instituts en charge des normes en Jordanie et au Yémen (OMS, 2006b).

En Jordanie et en Tunisie, la question des eaux usées est traitée dans le cadre des politiques et des plans nationaux relatifs à l'eau. La Jordanie a adopté en février 2016 la « politique de substitution et de réutilisation de l'eau », une politique officielle qui formalise le recours aux eaux usées traitées et qui prévoit des plans d'établissement de tarifs pour l'utilisation des eaux usées traitées et des eaux usées traitées mélangées (MWI, 2016a). Elle s'est accompagnée d'une autre politique portant sur la gestion décentralisée des eaux usées pour desservir les petites collectivités (MWI, 2016b), ce qui constitue une mesure importante sachant que les eaux usées représentent près de 15 % des ressources en eau disponibles en Jordanie (CESAO, 2015).

La coordination entre bailleurs de fond et la planification des investissements dans le secteur des

### ENCADRÉ 10.1 STRATÉGIE NATIONALE POUR LE SECTEUR DES EAUX USÉES AU LIBAN

En 2012, la population du Liban était estimée à 4,3 millions de personnes. Sur les quelques 310 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées générées sur l'année, environ 250 millions de m<sup>3</sup> étaient d'origine domestique, contre 60 millions d'origine industrielle (Ministère de l'eau et de l'électricité, 2012).

On estime que seulement 8 % des eaux usées générées au Liban sont traitées. Environ 11 % de la population bénéficie de systèmes d'eaux usées gérés de manière sûre dans les gouvernorats du Nord et du Sud, contre seulement 7 % et 3 % dans le grand Beyrouth et la Bekaa, respectivement (Karnib, 2016). L'essentiel des eaux usées collectées est déversé dans les eaux de surface et la mer Méditerranée. Les fosses septiques autonomes ont contaminé les ressources en eaux souterraines, telles que les sources de Jeita qui assurent l'approvisionnement du grand Beyrouth (BGR, s.d.). Les effets néfastes liés à une collecte, un transfert et un traitement inappropriés des eaux usées accentuent les risques pour la santé et l'environnement.

La stratégie nationale pour le secteur de l'assainissement de 2012 comportait cinq grands axes stratégiques : i) un programme d'investissement intégré prioritaire en faveur de la collecte, du traitement et de l'utilisation des eaux usées ; ii) des mesures légales, réglementaires et politiques permettant d'établir des normes et de les réglementer ; iii) des dispositions institutionnelles visant à établir les responsabilités et à créer les capacités nécessaires à la prestation des services ; iv) des mesures financières en faveur de services fiables et peu coûteux ; et v) des initiatives visant à encourager la participation du secteur privé dans le domaine des eaux usées. Le coût de mise en œuvre a été estimé à 3,1 milliards de dollars américains pour des travaux prévus entre 2012 et 2020. Malheureusement, la mise en œuvre de cette stratégie a été interrompue en raison d'un manque de financement et de l'instabilité résultant des incertitudes politiques et des conflits en cours dans la région.

eaux usées sont bien établies en Jordanie. Il est prévu dans le Plan de réponse jordanien à la crise syrienne pour 2016-2018 d'allouer d'importantes ressources au renforcement de la collecte et du traitement des eaux usées dans les communautés d'accueil de Jordanie. L'instauration de mesures sur l'efficacité énergétique et la pollution atmosphérique locale dans les stations de traitement des eaux usées est également prévue, tout comme la mise en place d'initiatives en faveur d'installations sanitaires sexospécifiques dans les écoles et les centres de soins médicaux (MOPIC, 2016). La Tunisie a aussi entrepris un programme soutenu de réutilisation de l'eau (voir encadré 10.2).

### 10.3.2 Utilisation de l'eau issue de l'industrie pétrolière

Des efforts ont été accomplis pour traiter et utiliser l'eau produite avec l'extraction du pétrole. Des essais ont été réalisés à Oman concernant le traitement et l'utilisation d'eaux usées contenant du pétrole pour l'irrigation, au lieu de rejeter cette eau dans les aquifères, ce qui contamine les ressources en eau souterraine (JPEC, 1999). Le déshuilage d'eau produite a également fait l'objet d'analyses à l'Université Sultan Qaboos d'Oman (Pillay et al., 2010), où il a été constaté que les zones humides artificielles pouvaient aussi servir à l'élimination de l'eau produite traitée.

### 10.3.3 Utilisation des eaux usées traitées pour les écosystèmes et la recharge artificielle des eaux souterraines

L'investissement de l'Arabie saoudite dans un système de traitement des eaux usées respectueux de l'environnement autour de Riyad a conduit à l'implantation des marécages de Wadi Hanifa grâce à la redirection des eaux usées traitées et au drainage des eaux d'écoulement. Cette initiative a été récompensée par le Prix Aga Khan d'architecture pour la conception de nouveaux espaces récréatifs et le retour de la biodiversité dans la région (AKDN, s.d.).

Des solutions hors réseau s'inspirant des écosystèmes naturels sont aussi mises en œuvre. Au Liban, l'Autorité du fleuve Litani a procédé avec succès à l'implantation d'un marais artificiel destiné au traitement des eaux usées. Des solutions analogues de traitement des eaux usées décentralisées axées sur la nature sont par ailleurs adoptées dans plusieurs communautés de montagne libanaises qui n'ont pas accès aux réseaux d'assainissement (Difaf, 2016).

Les eaux usées traitées sont aussi à présent utilisées pour renforcer la recharge des eaux souterraines et le stockage de l'eau dans les pays arabes où l'eau est rare. À Bahreïn, 7 % des eaux usées traitées servent à alimenter les nappes souterraines (LEA/CESAO/ACWUA, 2015). Par ailleurs, certains pays arabes s'emploient à rediriger les eaux pluviales et les eaux usées vers les aquifères afin de tirer profit des précipitations extrêmes et d'accroître les réserves d'eau, comme l'a fait l'Égypte sur les côtes de la mer Rouge.

### 10.3.4 Des eaux usées à l'énergie

Le biogaz récupéré à partir du traitement des eaux usées par digestion anaérobie permet de produire de l'énergie (voir section 16.2.2). Le biogaz ainsi récupéré dans la région sert à la production sur place de chaleur et d'électricité, mais pourrait aussi être utilisé pour générer de l'électricité hors site. La plus grande station de traitement de Jordanie, As-Samra, dessert 2,27 millions de personnes et assure son autonomie énergétique à 80% au moyen d'un générateur à biogaz assisté d'un

## ENCADRÉ 10.2 RÉUTILISATION DE L'EAU EN TUNISIE

La réutilisation de l'eau constitue une priorité pour la Tunisie depuis le début des années 1980, époque à laquelle le pays a lancé un programme de réutilisation de l'eau à l'échelle nationale dans l'optique d'accroître ses ressources en eau disponibles. L'essentiel des eaux usées urbaines bénéficie d'un traitement biologique secondaire par boues activées, et aussi d'un traitement tertiaire, plus rarement.

Les restrictions en matière d'utilisation des eaux usées traitées visant à protéger la santé publique ont bénéficié d'un écho considérable et vont dans le sens des recommandations de l'OMS (OMS, 2006b). La réglementation tunisienne autorise l'utilisation d'effluents ayant bénéficié d'un traitement secondaire sur l'ensemble des cultures excepté sur les légumes, qu'ils soient destinés à être consommés crus ou cuits. Les services régionaux de l'agriculture supervisent l'utilisation des eaux usées traitées de manière sûre, et collectent les redevances auprès des cultivateurs. Ces derniers payent l'eau destinée à l'irrigation en fonction du volume requis et de la zone à irriguer.

En dépit du fait que les pouvoirs publics soutiennent fermement le recours aux eaux usées traitées, les cultivateurs continuent de préférer l'irrigation à l'aide des eaux souterraines pour des raisons d'acceptation sociale, ou de réglementations concernant le choix des cultures, ou d'autres considérations d'ordre agronomique. Les exploitants des régions arides du Sud se disent également préoccupés par les effets à long terme des eaux usées salées sur le rendement de leurs récoltes et sur les sols. En outre, ils considèrent que les restrictions sanitaires les empêchent de faire pousser des cultures à forte valeur ajoutée telles que les légumes. Afin de remédier à ces problèmes, les décideurs tunisiens se sont employés à renforcer la coordination et à adopter des approches axées sur la demande en vue d'améliorer la planification de la récupération des eaux usées, et des projets d'irrigation au moyen d'effluents traités en toute sécurité (Qadir et al., 2010).

*Contribution de Manzoor Qadir (UNU-INWEH).*

digesteur anaérobie (CESAO, 2015). L'installation de traitement des eaux usées de Gabal El Asfar, sur la rive Est du Nil, au Caire, est dotée d'une capacité de traitement de plus de 1,4 million de m<sup>3</sup> par jour et dispose d'une centrale de cogénération alimentée par digestion anaérobie des boues produisant jusqu'à 65 % de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation (Badr, 2016).

Il est par ailleurs envisagé d'avoir recours à des digesteurs à biogaz modulaires pour produire de l'énergie et assurer l'approvisionnement des camps de réfugiés et des établissements humains informels du Machreq. Dans le contexte culturel local il est toutefois nécessaire de mieux faire connaître ces méthodes pour que leur mise en œuvre dépasse le stade de l'expérimentation.



# CHAPITRE 11

**CESAP** | Aida N. Karazhanova et Donovan Storey, avec les contributions de Jayakumar Ramasamy, Ram S. Tiwaree et Stefanos Fotiou

# ASIE ET PACIFIQUE



*Ce chapitre montre comment les eaux usées sont de plus en plus considérées comme une ressource potentielle pour un certain nombre de secteurs dans toute la région Asie-Pacifique, avec des avantages communs allant de la résilience climatique à la récupération des sous-produits.*

## 11.1 Contexte et défis

Alors qu'on assiste dans la région Asie-Pacifique à une concurrence de plus en plus vive dans tous les secteurs clés concernant les ressources limitées en eau douce, environ 80 à 90 % de l'ensemble des eaux usées produites dans la région sont rejetées sans être traitées et contaminent les ressources en eaux souterraines et de surface ainsi que les écosystèmes côtiers (CESAP, 2010) (voir tableau 11.1). Pour pouvoir satisfaire les futurs besoins en eau de la région et limiter la pollution, il est nécessaire que l'eau soit utilisée de façon plus efficace et que la production et l'évacuation des eaux usées soient améliorées grâce à des solutions innovantes sur le plan technique comme en matière de gestion.

La population urbaine de la région a plus que doublé entre 1950 et 2000 (CESAP/ONU-Habitat, 2015), ce qui a entraîné des besoins considérables en termes de systèmes de traitement des eaux usées supplémentaires et plus perfectionnés. Un autre défi en matière de gestion des eaux usées dans les zones urbaines est lié aux disparités socio-économiques. Les bidonvilles sont tout particulièrement mal desservis (voir section 5.3), tandis que les quartiers plus favorisés bénéficient en règle générale d'un meilleur accès aux infrastructures et aux services de gestion des eaux usées. En 2009, 30 % de la population de la région vivait dans des bidonvilles, et plus de la moitié des habitants des zones rurales, contre 25 % des citadins, n'avaient toujours pas accès à un assainissement amélioré (CESAP, 2014).

Pour pouvoir réduire l'écart qui existe entre la demande en eau et les réserves disponibles, il convient que davantage de cadres directeurs intégrés soient mis en place et appliqués dans la région (notamment à l'issue de consultations publiques), de façon à favoriser les économies circulaires et les initiatives en faveur de la croissance verte. Des technologies destinées à améliorer l'efficacité des ressources en eau ont été communément adoptées par la Chine, le Japon et la République de Corée. Dans ces pays, la gestion des eaux usées et la réutilisation de l'eau font à présent partie intégrante du cycle de gestion de l'eau, notamment par le biais d'incitations économiques visant à empêcher les rejets d'eaux usées et à prévenir la pollution. Ces pratiques s'accompagnent de politiques financières incitatives

contribuant à la création de débouchés pour les sous-produits des eaux usées, (notamment ceux liés aux études de cas sur l'assainissement écologique menées en Inde et au Népal) qui, à leur tour, peuvent avoir des effets positifs sur l'accès aux services d'assainissement (CESAP, 2013). À Singapour, le programme NEWater (voir figure 11.1) est rendu possible par des mesures d'incitation innovantes en matière de gestion de l'eau, adaptées aux conditions géographiques, sociales, politiques et économiques du pays (voir encadré 16.9).

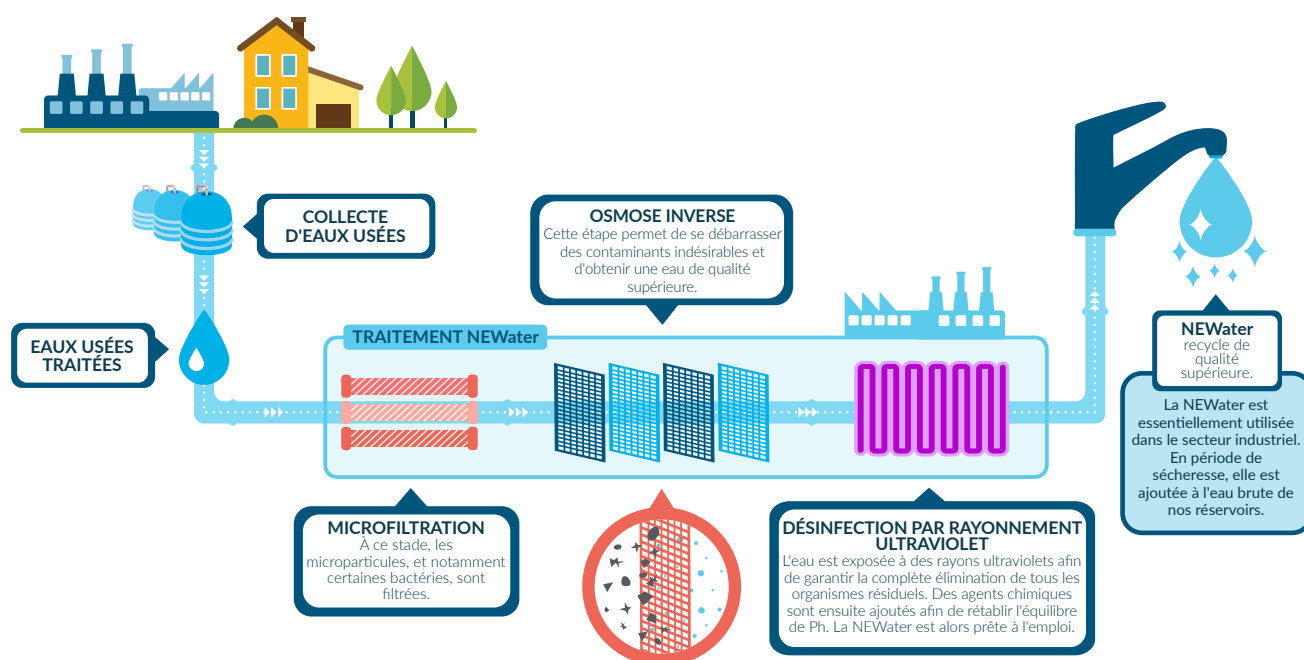
Le fait de considérer les eaux usées comme un produit dérivé désagréable issu du cycle de l'eau anthropique cède peu à peu la place à la reconnaissance de son potentiel en tant que ressource pour divers secteurs. La plupart des eaux usées sont toutefois toujours refoulées sans aucun traitement (voir tableau 11.1). On estime ainsi le pourcentage de rejet d'eaux usées sans traitement à 77 % pour la Thaïlande (2012), 82 % pour le Pakistan (2011), 84 % pour l'Arménie (2011) et 81 % pour le Viet Nam (2012) (CESAP, 2015a). Le renforcement de l'efficacité de la gestion des eaux usées contribuerait à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030 dans la région.

## 11.2 Bâtir des infrastructures résilientes

Les catastrophes naturelles, dont 90 % sont liées à l'eau, sont de plus en plus fréquentes et intenses en raison des changements climatiques (CESAP, 2015b). Il convient de s'employer davantage à renforcer la résilience des infrastructures physiques d'évacuation des eaux usées, comme les conduits et les canalisations, ainsi que des systèmes de drainage permettant de capter les eaux de ruissellement lors des inondations et des tempêtes. Pendant les inondations, qui ont causé dans la région des dégâts estimés à 61 milliards de dollars américains en 2011 (BAD, 2013), les effluents d'eaux usées se mélangent souvent aux eaux pluviales, déjà contaminées, ce qui entraîne de graves problèmes d'assainissement et augmente les risques de maladies d'origine hydrique. Lorsque les eaux de ruissellement urbain représentent une source importante d'inondations et de pollution, comme c'est le cas dans la plupart des villes de la région, il est absolument nécessaire de procéder à des aménagements urbains novateurs, prévoyant



**Figure 11.1** Programme NEWater de Singapour : dispositif technique général



Source : Fourni par l'Agence nationale de l'eau de Singapour (PUB).

**Tableau 11.1** Pays présentant les plus faibles niveaux de traitement des eaux usées dans la région Asie-Pacifique

| Pays                      | Eaux usées traitées (en %) | Pays          | Eaux usées traitées (en %) |
|---------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| Viet Nam                  | 19                         | Vanuatu       | 0                          |
| Bangladesh                | 17                         | Tuvalu        | 0                          |
| Papouasie-Nouvelle-Guinée | 15*                        | Timor-Leste   | 0                          |
| Tadjikistan               | 12                         | Niue          | 0                          |
| Népal                     | 12                         | Nauru         | 0                          |
| Myanmar                   | 10*                        | Îles Marshall | 0                          |
| Bhoutan                   | 10*                        | Maldives      | 0                          |
| Cambodge                  | 9                          | Kiribati      | 0                          |
| RDP lao                   | 6                          | Îles Cook     | 0                          |
| Samoa                     | 5*                         | Afghanistan   | 0                          |

\*Estimation.

Note : Le pourcentage d'eaux usées traitées est largement tributaire de la situation en la matière dans les (plus) grandes villes de ces pays, dans lesquelles le pourcentage est en général élevé, sans pour autant constituer un indicateur fiable de la situation dans les centres urbains des villes plus modestes ou des zones rurales, endroits pour lesquels les données font bien souvent défaut.

Source : adapté de la BAD (2013, annexe 4, p. 100).

notamment des infrastructures hydrauliques capables de résister aux aléas climatiques et basées sur des systèmes de collecte et de récupération d'eau dûment décentralisés (CESAP, 2015a) (voir section 15.5).

De nombreuses possibilités s'offrent aux collectivités pour intégrer aux projets de construction, nouveaux ou existants, des dispositifs d'atténuation des risques permettant de remédier à ces problèmes. Il peut s'agir, entre autres, de : toitures végétales, comme à Hong

Kong, en Chine (Urbis Limited, 2007) ; d'espaces verts réhabilités, de zones humides et de bassins de stabilisation des eaux usées, à Calcutta (zone humide mi-naturelle, mi-artificielle) ; de bâtiments économes en eau, en République de Corée ; de l'agriculture verticale, qui permet de produire de grandes quantités de plantes et de légumes dans des bâtiments à plusieurs étages en Australie, en Chine, au Japon et en Nouvelle-Zélande (Despommier, 2011) ; de systèmes de captage des eaux de pluie, à Kiribati ; ou encore de ceintures de mangrove au Sri Lanka, en Thaïlande et dans les États insulaires du Pacifique. D'après une étude, les toitures végétales peuvent retenir entre 60 et 100 % des eaux de pluie qu'elles recueillent, selon la profondeur du substrat ainsi que la quantité et l'intensité des précipitations.

### 11.3 Une approche systémique de la récupération des sous-produits des eaux usées

Les sous-produits des eaux usées domestiques, comme le sel, l'azote et le phosphore, peuvent présenter un intérêt économique susceptible de contribuer à l'amélioration des conditions de vie dans la région. En l'absence d'infrastructures centralisées, les foyers qui assurent eux-mêmes leur assainissement sont en mesure de devenir autonomes sur le plan énergétique en exploitant leurs propres déchets, ce qui permet de réduire les dépenses en combustible ainsi que les risques sur la santé et les effets sur l'environnement. La récupération du phosphore contenu dans l'urine au moyen de toilettes à séparation d'urines, en Australie, en Chine et au Japon, par exemple, permet aussi de limiter la charge d'éléments nutritifs dans les eaux usées et jouit d'un fort potentiel de développement dans la région (CESAP/ONU-Habitat/AIT, 2015). Il est possible d'utiliser plus largement la biomasse (les boues) comme engrais à des fins agricoles, comme cela se fait depuis toujours dans les pays d'Asie centrale, ou de la convertir en combustible pour la cuisson des aliments ou le chauffage à l'aide de réacteurs à biogaz, comme dans les zones rurales au Cambodge, en Thaïlande, au Viet Nam et dans le Pacifique (CESAP/ONU-Habitat/AIT, 2015), ce qui permet de limiter la pollution de l'eau (Schuster-Wallace et al., 2015). Des analyses d'études de cas en Asie du Sud-Est ont révélé que les revenus tirés des sous-produits des eaux usées, comme l'engrais, sont considérablement plus élevés que les coûts d'exploitation des systèmes de récupération, ce qui démontre que la récupération des ressources constitue un modèle économique viable et lucratif en matière de pratiques écologiques et de développement économique (CESAP/ONU-Habitat/AIT, 2015).



**En 2009, 30% de la population de la région vivait dans des bidonvilles et plus de la moitié des habitants des zones rurales, contre 25% des citadins, n'avaient toujours pas accès à un assainissement amélioré**

### 11.4 Besoins en matière de capacités et de réglementation

Les réglementations portant sur les sources de pollution ponctuelles (à savoir les contaminants industriels) dans les villes peuvent contribuer à réduire les effets néfastes des eaux usées urbaines dans la région Asie-Pacifique. De nombreuses villes ont recours à des installations de traitement des eaux usées centralisées dont la mise en place et la gestion coûtent cher, et qui ne parviennent pas pour autant à satisfaire les besoins des populations urbaines, et des pauvres en particulier. D'ailleurs, les systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS) (CESAP/UN-Habitat/AIT, 2015) sont de plus en plus utilisés, dans les zones rurales comme dans les zones urbaines, avec un certain nombre de retombées positives (voir section 15.4).

Une gestion plus efficace et rationnelle des eaux usées dans la région requiert l'appui des institutions, et notamment un soutien accru en faveur des autorités locales (GWOPA/ONU-Habitat/ICLEI/WWF7/CGLU/CME/DGI, 2015). Les municipalités et les collectivités locales sont souvent dépourvues des moyens humains et financiers nécessaires pour faire appliquer des réglementations environnementales et pour améliorer et préserver les infrastructures et les services liés à l'eau. Les problèmes de maintenance sont par conséquent fréquents et très répandus, et se trouvent accentués par des lacunes en matière de financement et de recouvrement des recettes fiscales (CESAP, 2015a). Il reste encore beaucoup à faire dans l'ensemble de la région pour soutenir les autorités municipales et locales afin de leur permettre d'assurer la bonne gestion des eaux usées et de tirer parti de cette ressource dans la perspective de la réalisation des ODD, tout particulièrement l'objectif 6 dédié à l'eau et l'assainissement et l'objectif 11 en faveur de villes et de communautés durables.

# CHAPITRE 12

CEE-ONU | Annukka Lipponen

Avec les contributions de : L'unité Eau du groupe de travail du Programme Green Action, l'Organisation de coopération et de développement économiques; et l'Agence européenne pour l'environnement

## EUROPE AMÉRIQUE DU NORD

Inspection d'égouts datant de 2000 ans dans la Cloaca Maxima à Rome (Italie)



*Ce chapitre est axé sur les défis en matière de gestion des eaux usées qui se posent en Europe et en Amérique du Nord, en mettant tout particulièrement l'accent sur les instruments juridiques régionaux.*

Le chapitre rend compte des faits marquants dans la région de la CEE-ONU (comprenant l'UE, les Balkans, l'Europe orientale, le Caucase et l'Asie centrale, ainsi que l'Amérique du Nord) concernant les eaux usées, en faisant état des difficultés, mais aussi des réponses encourageantes. Les sous-régions sont confrontées à des défis quelque peu différents (voir tableau 12.1).

## 12.1 Contexte

Dans l'ensemble, le niveau d'accès à l'assainissement est assez élevé dans la région, y compris dans le Caucase et en Asie centrale puisque les deux sous-régions ont atteint la cible des OMD concernant l'accès à un assainissement amélioré avec un taux de 95 % en la matière (UNICEF/OMS, 2015). La mise en place de services d'assainissement et de traitement des eaux usées dans la région est néanmoins inégale, comme en témoigne le bassin du Danube (Michaud et al., 2015).

Le traitement des eaux usées a progressé dans la région au cours des 15-20 dernières années. La proportion de la population bénéficiant de la collecte et du traitement des eaux usées dans certaines sous-régions d'Europe est indiquée à la figure 12.1. Le traitement tertiaire a peu à peu progressé, mais en Europe du Sud-Est et dans le reste des territoires paneuropéens de l'Est, d'importants volumes d'eaux usées sont toujours collectés et rejetés sans être traités.

## 12.2 Défis

Une bonne partie de région de la CEE-ONU bénéficie de systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement, mais les évolutions démographiques et économiques ont entamé l'efficacité de certains grands réseaux centralisés, comme en témoignent plusieurs systèmes démesurés et inadaptés dans certains endroits de l'ex-Union soviétique. Le manque d'efficacité des systèmes d'eau, qui se caractérisent par une utilisation importante des ressources et l'absence d'incitations en faveur d'une utilisation rationnelle de l'eau, constitue un problème majeur en Europe orientale, dans le Caucase et en Asie centrale (CEE-ONU/OCDE, 2014), où

d'importants volumes d'eau approvisionnée se transforment en eaux usées, et où bien souvent seul un traitement primaire est assuré. Les tarifs de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement sont en général trop peu élevés pour couvrir les coûts d'exploitation et de maintenance (OCDE, 2011a). Cela pose d'importants problèmes pour pouvoir répondre aux besoins en matière d'investissement dans les infrastructures, et n'encourage pas à une utilisation rationnelle, tout en posant question du point de vue de la durabilité (voir encadré 12.1).

Compte tenu des évolutions démographiques et économiques, des orientations politiques en faveur d'une meilleure gestion des ressources (AEE, 2016) ainsi que des nouvelles connaissances au sujet des risques et des considérations d'équité (zones rurales et zones urbaines, minorités, etc.) (CEE-ONU/OMS, 2013), il apparaît clairement qu'il convient de reconsidérer les infrastructures d'évacuation des eaux usées et d'assainissement dans la région, en vue d'assurer l'adéquation des services ainsi que le niveau et les moyens de traitement requis. Le besoin de réutiliser l'eau est de plus en plus marqué, surtout dans les régions où l'eau a tendance à manquer. On observe une croissance des investissements en faveur des technologies liées au traitement et à la maîtrise de la pollution aux États-Unis comme en Europe (voir encadré 12.2).

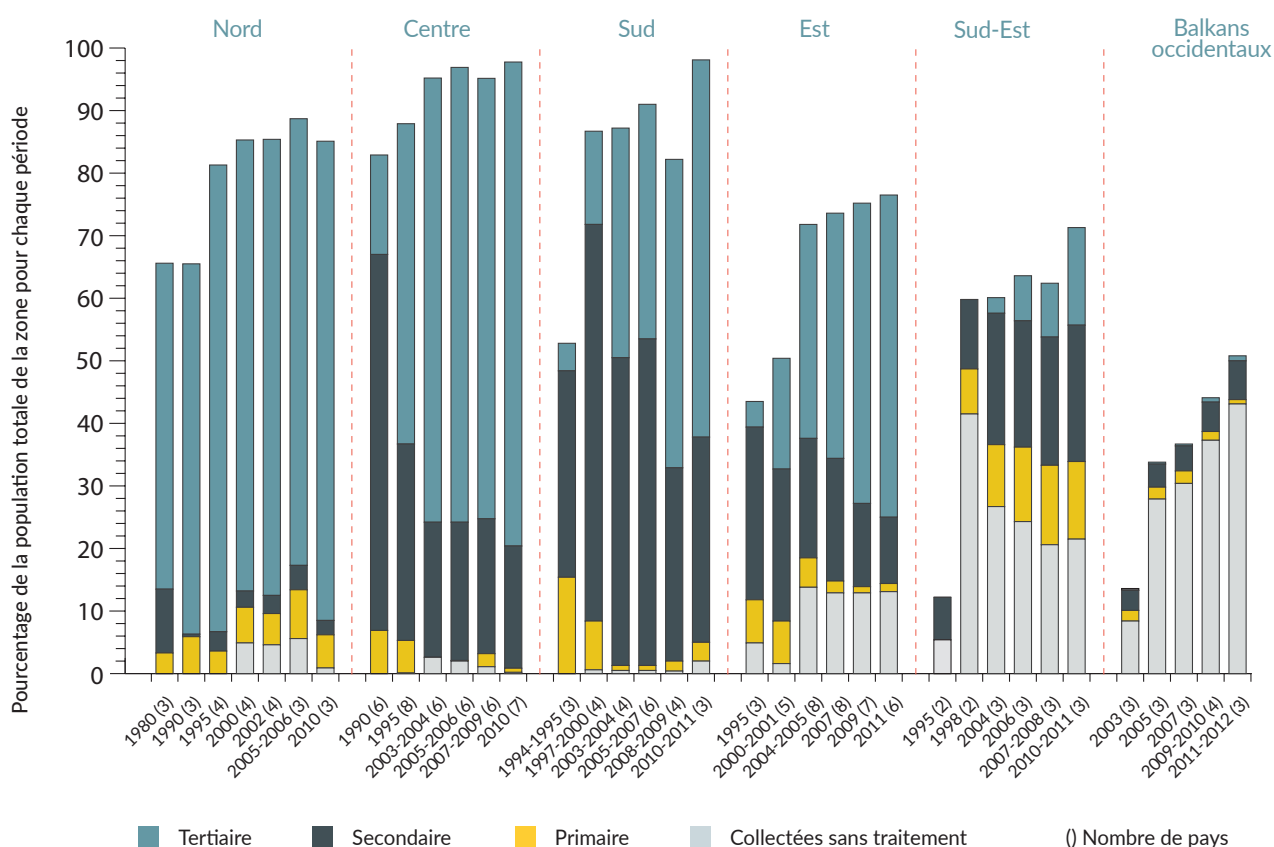
L'utilisation indirecte des eaux usées ayant le plus souvent lieu en aval des zones de rejet, les performances et la conformité des systèmes de traitement des eaux usées font l'objet d'une surveillance étroite dans la région de la CEE-ONU. Les nouveaux risques liés aux polluants émergents (voir encadré 4.1), et notamment aux micropolluants, sont pris en compte depuis le début des années 2000 (Bolong et al., 2009). Il convient particulièrement de mentionner les perturbateurs endocriniens chimiques, qui peuvent avoir des effets néfastes sur les êtres humains, les animaux et les écosystèmes. Il a été préconisé, dans le cadre d'études nationales, de détecter plus systématiquement leur présence, leurs déplacements et leurs effets, afin de pouvoir établir des évaluations des risques fondées sur le plan scientifique et définir les mesures à prendre (Trachsel, 2008 ; MIE/PWA, 2016).



**Tableau 12.1** Exemples de difficultés et de mesures prises en réponse dans les sous-régions de la zone de la CEE-ONU (non exhaustif)

|                      | Amérique du Nord             | Union européenne                                                                               | Europe du Sud-Est et Europe orientale                                 | Caucase et Asie centrale                                                                                               |
|----------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Difficulté(s)</b> | Manque d'eau                 | Élimination efficace des polluants émergents                                                   | Respect des normes régionales en matière de traitement des eaux usées | Traitement de la pollution issue des rejets d'eaux usées ; élargissement de la couverture du traitement des eaux usées |
| <b>Réponse(s)</b>    | Réutilisation des eaux usées | Recours aux meilleures techniques/technologies disponibles ; recours aux solutions écologiques | Meilleure application des instruments juridiques régionaux            | Élargissement et modernisation des infrastructures permettant des niveaux de traitement plus élevés                    |

**Figure 12.1** Évolution du traitement des eaux usées dans les régions européennes entre 1980 et 2012



\*UWWTPs = Urban wastewater treatment plants (usines de traitement des eaux usées urbaines).

Note : La figure représente la proportion de la population, par région européenne, reliée à des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées au cours de la période 1980-2012. Une ventilation par type de traitement est également proposée. Les chiffres entre parenthèses renvoient au nombre de pays dans chaque catégorie.

Source : AEE (2013, à partir des données d'Eurostat).

### **ENCADRÉ 12.1** GESTION DES EAUX USÉES MUNICIPALES – DÉVELOPPEMENT ET RÉHABILITATION D'INFRASTRUCTURES : ÉVOLUTION RÉCENTE DANS LES PAYS D'EUROPE ORIENTALE, DU CAUCASE ET D'ASIE CENTRALE (EOCAC)

Dans les pays de l'EOCAC, une proportion relativement élevée de la population est desservie à l'aide de systèmes centralisés de collecte des eaux usées urbaines. La couverture des zones rurales est bien moindre, malgré les réels progrès accomplis par certains pays de la région au cours des années 1980. Le Moldova, par exemple, a construit 650 stations de traitement des eaux usées dans des localités rurales au cours de la période en question.

Dans les années 1990, de nombreux systèmes d'assainissement de la région se sont dégradés en raison de la décentralisation de l'infrastructure sociale vers des collectivités locales aux capacités financières restreintes. Ainsi, en Arménie, le budget global de l'ensemble des collectivités s'élevait à seulement 2 % du budget national, tandis qu'un village moldave disposait d'un budget de l'ordre de 10 000 euros pour financer l'ensemble des services d'infrastructure, qu'il s'agisse des écoles, et des routes, ou de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (OCDE, 2011a ; 2013a).

Au cours de cette même période, les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement ont également pâti d'un manque d'efficacité (des systèmes démesurés aux coûts unitaires élevés), de politiques tarifaires et de réglementations économiques inadaptées, et d'un manque de modèles d'activité appropriés en matière d'exploitation, d'entretien et de financement des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement, tout particulièrement dans les petites villes et les zones rurales. Ces difficultés rencontrées par les opérateurs du secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement se sont accompagnées d'une très forte baisse du revenu des ménages et de l'accentuation des écarts de revenu, ce qui a entraîné des problèmes d'accessibilité pour de nombreux foyers. Cela a particulièrement été le cas dans les petits villages isolés (d'une population inférieure à 500 personnes) où le revenu des ménages a baissé alors que les coûts unitaires des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement y étaient 2 à 3 fois plus élevés que dans les endroits plus peuplés.

Cependant, la situation s'est nettement améliorée depuis 2000 dans la plupart des pays de l'EOCAC, tout du moins dans les zones urbaines (OCDE, 2011a), en général avec l'aide de partenaires de développement. Aujourd'hui, ces pays accordent davantage d'importance à l'amélioration de l'assainissement en zone rurale. Les progrès qui y ont été réalisés sont liés à la révision des normes techniques dépassées qui a permis d'adapter la capacité des nouveaux systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement aux besoins réels et prévus en matière de services (OCDE, 2012), et à la mise en place de modèles économiques à l'attention des opérateurs du secteur, notamment en ce qui concerne la « régionalisation » des services municipaux de l'eau, des associations locales et des opérateurs privés (OCDE, 2013a ; 2016).

*Contribution de l'unité Eau du groupe de travail du Programme Green Action, OCDE.*

**Il apparaît  
clairement qu'il convient de  
reconsidérer les infrastructures  
d'évacuation des eaux usées et  
d'assainissement dans la région  
en vue de veiller à l'adéquation  
des services ainsi qu'au niveau  
de traitement requis et aux  
moyens à mobiliser**

## **12.3 Réponses**

Des instruments juridiques régionaux ont contribué à améliorer dans l'ensemble l'accès à l'assainissement ainsi qu'à réduire les effets des rejets d'eaux usées, tout particulièrement la Directive relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (voir encadré 12.3), ainsi que le Protocole sur l'eau et la santé de la CEE-ONU et de l'OMS (CEE-ONU/OMS, 2016) (voir encadré 12.4). Certains instruments juridiques de la région permettent des améliorations sur le plan technique. La notion de « meilleures techniques disponibles » (MTD), telle qu'elle est définie dans la législation environnementale européenne relative à la pollution industrielle, porte également sur les modes de gestion et les effets sur l'environnement. Dans le secteur des produits chimiques, les MTD sont utilisées dans le cadre d'une stratégie intégrée de gestion des eaux usées, et consistent en l'application d'un ensemble de techniques, en privilégiant celles qui visent à prévenir ou réduire la formation de polluants de l'eau et à les récupérer à la source. Dans ce contexte, les MTD ne renvoient pas aux « meilleures technologies disponibles » qui régissent, pour les Parties à la Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux (Convention sur l'eau, voir Section 3.2.1) (CEE-ONU, 1992, entrée en vigueur en 1996), les limites autorisées en matière de rejet des eaux usées, ces dernières constituant un ensemble de critères tenant compte d'aspects techniques (ainsi que de la disponibilité), mais aussi de la faisabilité sur le plan financier (CEE-ONU, 2013).

## ENCADRÉ 12.2 OPTIMISATION DU POTENTIEL DE RÉUTILISATION : CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES EAUX USÉES TRAITÉES ET EXAMEN DE L'ASSAINISSEMENT ÉCOLOGIQUE EN EUROPE ET EN AMÉRIQUE DU NORD

Les eaux usées traitées offrent de vastes possibilités pour augmenter les ressources en eau, y compris en eau potable, et les États-Unis réutilisent l'eau en très grandes quantités. En assurant la détection des contaminants chimiques et biologiques, la technologie analytique et les barrières de protection multiples actuelles fournissent les éléments de régulation requis pour garantir une réutilisation de l'eau sans risque (Water Science and Technology Board, 2012). L'installation de Big Spring, au Texas, où l'on a recours à la microfiltration, à l'osmose inverse et à la désinfection par rayonnement ultraviolet, constitue un cas précurseur en matière de réutilisation directe d'eau rendue potable. Les eaux usées traitées y sont mélangées à de l'eau brute et permettent de desservir quelque 250 000 personnes (Water Online, 2014 ; Woodall, 2015).

Le manque d'eau a été un facteur déterminant en matière de réutilisation de la ressource, et le niveau de traitement dépend de l'adéquation entre la qualité de l'eau et l'utilisation finale. La compagnie d'eau West Basin produit cinq types d'eaux « sur mesure » pour des usages spécifiques : l'irrigation, les tours de refroidissement, les barrières contre les infiltrations d'eau de mer, et la recharge des eaux souterraines, ainsi que deux types d'eau d'alimentation de chaudière (West Basin Municipal Water District, s.d.). Il est possible pour certains usages d'avoir recours à de l'eau de récupération n'ayant subi qu'un traitement superficiel, notamment dans le cadre de l'entretien des espaces verts (WssTP, 2013). Il a été constaté que l'absence de lignes directrices axées sur les risques en matière de traitement des eaux grises et des eaux pluviales limitait le recours à ces ressources aux États-Unis (National Academies of Science, Engineering and Medicine, 2015). Pour renforcer les possibilités en matière d'utilisation des eaux usées industrielles, la recherche et le développement technologique sont nécessaires, comme le sont aussi la pleine exploitation des technologies existantes et la conjugaison des techniques de traitement biologique et physico-chimique émergentes et existantes (WssTP, 2013).

En principe, la séparation de l'urine à la source et la récupération des excréments pour en faire de l'engrais devraient offrir des perspectives à la fois aux foyers ruraux et aux entrepreneurs, et les besoins plus limités en matière de traitement des eaux usées devraient aussi permettre de faire des économies d'énergie. Les avis concernant l'emploi des excréments et de l'urine divergent énormément, y compris au sein de l'UE, entre les partisans de l'adoption des modalités appliquées pour le lisier et les tenants d'une interdiction pure et simple de cette pratique.

Si l'utilisation de compost issu de toilettes sèches et d'urine séparée à la source est autorisée dans les jardins des particuliers, elle est en général interdite pour les cultures commerciales (O'Neill, 2015). Dans un effort visant à mettre en place des procédés écologiques en circuit fermé, un assainissement écologique faisant appel à des toilettes à compostage et à des systèmes de marais artificiels destinés au traitement des eaux grises a été instauré dans des quartiers écologiques (Allermöhe, à l'est d'Hambourg, en Allemagne, par exemple), ce qui a permis de réduire la consommation d'eau et d'énergie des habitants (Von Muench, 2009). La réutilisation des résidus d'assainissement et l'utilisation sans danger des engrais qu'ils contiennent supposent que la législation et les politiques apportent un cadre propice, que les risques sanitaires connexes soient maîtrisés, que les questions logistiques afférentes soient réglées (à savoir la collecte de l'urine et sa transformation à l'état solide) et que l'opinion publique y soit favorable (O'Neill, 2015)<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> L'auteur remercie Sharon Megdal et Susanna Eden, Water Resources Research Center, Université d'Arizona (pour l'utilisation des eaux usées) et Sari Huuhtanen, Association Global Dry Toilet (Finlande) (pour l'assainissement écologique) pour leur contribution.

### ENCADRÉ 12.3 DIRECTIVE DE L'UNION EUROPÉENNE RELATIVE AU TRAITEMENT DES EAUX URBAINES RÉSIDUAIRES

La Directive relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (UE, 1991), accompagnée des autres instruments européens relatifs à la lutte contre la pollution et à la protection de l'environnement, est un outil juridique majeur qui a contribué aux progrès dont témoigne la figure 12.1.

La Directive, adoptée en 1991, porte sur la collecte, les rejets et le traitement des eaux usées urbaines. Elle vise principalement à protéger les eaux de surface des effets néfastes des rejets d'eaux usées. Cela passe par l'obligation de la collecte et du traitement des eaux usées dans toutes les agglomérations ayant un équivalent habitant (EH)<sup>10</sup> supérieur à 2 000. La Directive prévoit un traitement biologique des eaux usées (traitement secondaire) dans les agglomérations ayant un EH supérieur à 10 000, ou même plus faible. Dans les bassins versants présentant des eaux particulièrement sensibles (ce qui représente près de 75 % du territoire de l'UE), tels que ceux qui sont atteints d'eutrophisation, un traitement tertiaire est parfois requis. La Directive prévoyait, au moyen d'un calendrier progressif de mise en œuvre, de commencer par la mise en conformité des systèmes des plus grandes agglomérations, dont l'impact est théoriquement le plus élevé.

Sur la base des séries de données fournies par 28 États membres de l'UE, portant sur plus de 19 000 agglomérations ayant un (EH) supérieur à 2 000 et générant une pollution correspondant à 495 millions d'EH, la Commission européenne a évalué le taux de conformité général à 88 %. Un investissement supplémentaire de 22 milliards d'euros est prévu, ce qui permettra aux États membres de l'UE de se conformer pleinement à la Directive. L'un des principaux défis en matière de mise en œuvre, en dehors des investissements, est la planification à long terme (CE, 2016b). Là où l'application de la Directive est en bonne voie et où des réseaux d'égouts unitaires sont en place, les débordements d'eaux pluviales peuvent aussi présenter des risques de pollution diffuse. Il importe donc de limiter ces débordements afin d'améliorer les taux de conformité (Milieu, 2016). La mise en conformité représente un défi, surtout pour les nouveaux États membres, mais il s'agit aussi d'une occasion d'accomplir des progrès (Michaud et al., 2015).

*Contribution de l'AEE.*

<sup>10</sup> L'équivalent habitant, ou « EH », est l'unité utilisée pour quantifier la charge polluante dans la Directive relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Un EH correspond à la charge organique ayant une demande biochimique en oxygène à cinq jours (DBO5) de 60 g d'oxygène par jour (Umweltbundesamt GmbH, 2015).

### ENCADRÉ 12.4 FIXATION D'OBJECTIFS NATIONAUX DANS LE CADRE DU PROTOCOLE EUROPÉEN SUR L'EAU ET LA SANTÉ DE LA CEE-ONU ET L'OMS : RELEVER LE DÉFI DES EAUX USÉES

Le Protocole sur l'eau et la santé relatif à la Convention sur l'eau de la CEE-ONU est un instrument juridique contraignant qui exige des Parties qu'elles fixent des objectifs nationaux et locaux portant sur l'ensemble du cycle de l'eau, y compris l'assainissement. L'objectif consiste à protéger la santé et le bien-être des êtres humains au moyen d'une meilleure gestion de l'eau, en sauvegardant les écosystèmes aquatiques ainsi qu'en prévenant, en combattant et en faisant reculer les maladies liées à l'eau. Le programme de travail à venir du Protocole pour 2017-2019 prévoit un objectif visant au renfort des capacités des pays et des méthodes de gestion fondées sur les risques en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement. La planification intersectorielle et l'approche fondée sur la responsabilisation adoptées dans le cadre du Protocole offrent un cadre pratique à transposer en objectifs nationaux spécifiques en vue d'atteindre les buts de l'ODD 6, et notamment la cible 6.3 consistant à diminuer de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et à augmenter considérablement le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau.

*Sources : CEE-ONU/OMS (2016).*

*Contribution de Nataliya Nikiforova (CEE-ONU) et Oliver Schmoll (Bureau régional de l'OMS pour l'Europe)*



# CHAPITRE 13

CEPALC | Andrei Jouravlev

**Avec des contributions de :** Caridad Canales (CESAP) ; Eduardo Antonio Ríos-Villamizar, Emilio Lentini, Gustavo Ferro, Ivanildo Hespanhol, Jaime Llosa, Julio Sueros et Miguel Doria (Bureau de l'UNESCO à Montevideo) ; et Miguel Solanes et Shreya Kumra (CEPALC)

# AMÉRIQUE LATINE ET CARAÏBES



Un chef indigène inspecte une rivière contaminée dans la forêt amazonienne

*Ce chapitre expose les défis liés au récent développement de la gestion des eaux usées dans les villes à croissance rapide de la région de l'Amérique latine et des Caraïbes, en mettant en exergue les avantages liés au traitement des eaux usées urbaines et les enseignements tirés en la matière.*

L'Amérique latine et les Caraïbes sont, dans l'ensemble, une région humide dotée de ressources en eau abondantes, bien qu'il y existe des zones très arides. L'agriculture est responsable de l'essentiel de la consommation d'eau, avec 70 % des prélèvements, alors que les approvisionnements domestiques et industriels comptent respectivement pour 17 % et 13 % des prélèvements (AQUASTAT, 2016). La région est largement tributaire de l'énergie hydraulique, qui y génère plus de 60 % de l'électricité, et dont le potentiel technique (74 %) n'est pas encore pleinement exploité (AIE, 2014). Avec 80 % de la population vivant dans les zones urbaines, il s'agit, de l'une des régions les plus urbanisées du monde, et on estime que ce phénomène devrait se poursuivre et que 86 % des habitants seront des citadins d'ici 2050 (DAES, 2014). À l'heure actuelle, la région compte quatre mégalo-poles de plus de 10 millions d'habitants, et devrait en compter deux de plus d'ici 2030.

### 13.1 Le défi des eaux usées urbaines

Dans la région, les rejets d'eaux usées urbaines sont de plus en plus importants du fait : i) de la croissance démographique (la population urbaine est passée de 314 millions de personnes en 1990 à près de 496 millions aujourd'hui, et devrait atteindre 674 millions en 2050) (DAES 2014) ; et ii) du développement des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement. En 2015, 88 % de la population urbaine avait accès à des installations sanitaires améliorées (UNICEF/OMS, 2015), dont probablement moins de 60 % étaient raccordées à des réseaux d'assainissement (UNICEF/OMS, 2000). Étant donné que le traitement des eaux usées n'a pas connu un essor analogue dans la majeure partie de la région, les eaux d'égout urbaines sont à présent au cœur des préoccupations des gouvernements.

La population qui n'a pas accès aux réseaux d'assainissement a le plus souvent recours à des systèmes d'évacuation sur place (autonomes) comme les latrines et les fosses septiques. Avec ce type d'installations, les eaux usées sont évacuées par ruissellement direct ou percolation dans les cours d'eau et les aquifères avoisinants, ce qui

entraîne bien souvent une pollution de l'eau. De manière générale, les réseaux d'assainissement urbains posent encore plus de difficultés en raison du fait que les eaux usées interceptées et collectées sont concentrées dans un nombre restreint de points d'évacuation (Idelovitch et Ringskog, 1997). Les systèmes d'évacuation autonomes, toujours très répandus dans les grandes villes, suscitent fréquemment des inquiétudes concernant la pollution des eaux souterraines.

Pendant plusieurs dizaines d'années, la couverture du traitement des eaux usées est restée très limitée (OPS, 1990). Cette situation était en grande partie due à la nécessité d'accorder la priorité au développement des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, ainsi qu'aux restrictions découlant du coût élevé du traitement des eaux usées. Les difficultés étaient d'autant plus importantes dans un contexte de budgets publics restreints, avec une tarification insuffisante pour couvrir les coûts liés aux services, une application peu rigoureuse des réglementations existantes, des niveaux de pauvreté et d'inégalités élevés, ainsi que la nécessité de répondre à d'autres besoins sociaux urgents.

En conséquence, la quasi-totalité des eaux usées urbaines, y compris les effluents industriels, sauf peut-être les plus toxiques, était rejetée dans les masses d'eau environnantes, sans aucun traitement. Bon nombre de rivières, de lacs et d'eaux côtières, tout particulièrement en aval des grandes villes, ont ainsi été, et sont toujours, fortement contaminés. Cela entraîne de graves conséquences, non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé et le bien-être des populations, ainsi que sur le développement socio-économique global de la région, tout particulièrement pour ce qui est des secteurs de l'agriculture et du tourisme (voir encadré 13.1).

L'un des problèmes majeur, et très répandu, vient du recours à une eau contaminée, le plus souvent une eau de rivière présentant des taux de pollution inacceptables, mais aussi des eaux d'égout brutes et, dans certains cas, des eaux usées traitées, à des fins d'irrigation à la périphérie des grandes villes (c.-à-d. en agriculture périurbaine), surtout dans les régions arides ou semi-arides. Cette pratique est essentiellement le fait des petits exploitants

### ENCADRÉ 13.1 CONSÉQUENCES DES REJETS D'EAUX USÉES URBAINES NON TRAITÉES : L'ÉPIDÉMIE DE CHOLÉRA DE 1991

L'épidémie de choléra de 1991 a été l'une des plus graves qu'ait connues le Pérou, avec 323 000 cas au total et 2 900 décès enregistrés sur l'année. De nombreux autres pays ont également été touchés et la région a enregistré 391 000 cas au total et 4 000 décès.

Le manque à gagner pour le tourisme et les restrictions imposées sur les denrées alimentaires ont entraîné d'importantes pertes économiques pour les pays touchés. Rien qu'au Pérou, le préjudice concernant les exportations de produits de la pêche a dépassé les 700 millions de dollars américains. L'épidémie a aussi conduit à un processus de restructuration en raison des exigences sanitaires plus strictes des pays importateurs et de l'augmentation des coûts à l'exportation.

Cet événement a incité plusieurs pays à accorder une grande priorité au secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement. Plus particulièrement, la nécessité de préserver l'accès aux marchés extérieurs a été l'un des facteurs qui ont poussé le Gouvernement du Chili à lancer un programme d'investissement de grande envergure, lequel a abouti à un traitement des eaux usées urbaines généralisé.

Source : Jouravlev (2004).

agricoles qui cultivent des fruits et des légumes à destination des marchés locaux. Ce qui a motivé en premier lieu l'irrigation par des eaux usées est la forte concurrence pour l'eau qui règne dans les bassins fluviaux où sont implantées de grandes villes. Le fait que les eaux usées urbaines constituent une source d'eau fiable, peu coûteuse et riche en nutriments a aussi encouragé leur utilisation. L'inconvénient, néanmoins, est que les normes sanitaires sont rarement respectées, notamment parce que les dispositifs de suivi et de contrôle sont insuffisants, voire, dans certains cas, inexistantes. Il existe cependant des cas satisfaisants d'utilisation des eaux usées urbaines à des fins d'irrigation, en Argentine, en Bolivie, au Chili au Mexique et au Pérou, par exemple.

## 13.2 Développement récent du traitement des eaux usées urbaines

La situation a commencé à changer au cours des deux dernières décennies, durant lesquelles une attention croissante a été portée aux services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, mais aussi à la mise en place d'installations de traitement des eaux usées. Cette évolution s'explique par : i) les niveaux de couverture élevés atteints en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement dans le cadre du processus des OMD (UNICEF/OMS, 2015) ; ii) l'amélioration de la situation financière de plusieurs prestataires de services, en particulier dans les grandes villes, qui ont, ces dernières années, accompli d'importants progrès en matière de recouvrement (Ferro et Lentini, 2013) ; et iii) les importants progrès

sur le plan socio-économique accomplis dans la région au cours des dix premières années du siècle actuel, qui ont permis à de nombreuses personnes d'échapper à la pauvreté et conduit à l'émergence d'une classe moyenne. L'intégration des économies régionales au sein des marchés mondiaux a aussi été un facteur déterminant. Le développement du traitement des eaux usées est crucial à cet égard, étant donné que les problèmes sanitaires et environnementaux liés à la pollution de l'eau peuvent réduire à néant des années d'efforts accomplis en vue de développer des marchés d'exportation (voir encadré 1) (Jouravlev, 2004).

Dans certains cas, d'importants programmes de gestion des eaux usées ont aussi été initiés suite à des manifestations publiques et des décisions de justice. L'exemple le plus emblématique en la matière est le cas du bassin du fleuve Matanza-Riachuelo, en Argentine, où les autorités, par le biais d'une procédure d'intérêt public, ont été condamnées à nettoyer le fleuve, ce qui les a poussées à lancer un vaste plan en faveur de la restauration environnementale du bassin fluvial (Rossi, 2009).

Le taux couverture du traitement des eaux usées urbaines a presque doublé depuis la fin des années 1990, et on estime qu'il a atteint à présent entre 20 % (Sato et al., 2013) et 30 % (Ballesterio et al., 2015) des eaux usées recueillies dans les réseaux d'égouts urbains. Les principales technologies mobilisées (environ 80 %, à la fois en termes de nombre d'installations et de volumes traités) sont les bassins de stabilisation, les procédés de boues activées, et les réacteurs anaérobies à lit de boue (Noyola et al., 2012).



### 13.3 Problèmes persistants et possibilités d'expansion

Dans l'ensemble, la région n'a connu que des projets de traitement des eaux usées isolés en réponse à des problèmes sociaux et environnementaux locaux, et non des programmes intégrés et durables à l'échelle nationale. Par ailleurs, de nombreuses stations de traitement des eaux usées, tout particulièrement dans les petites communautés, pâtissent d'une exploitation et d'une maintenance médiocres et finissent même parfois par être abandonnées en raison du manque de moyens techniques et financiers des autorités locales et des prestataires de services. La plupart de ces installations sont de taille réduite et ne sont pas en mesure de tirer profit des économies d'échelle, ce qui implique des coûts élevés et une forte probabilité de non-conformité avec les normes en matière de rejets (Noyola et al., 2012). Les eaux usées urbaines sont toujours considérées comme des déchets impliquant des coûts supplémentaires plutôt que comme une source potentielle d'approvisionnement en eau et de nutriments susceptible de soulager considérablement les pressions exercées sur l'environnement.

De tous les pays de la région, le Chili est celui qui a accompli le plus de progrès à cet égard, puisqu'il bénéficie d'un traitement des eaux usées urbaines généralisé (SISS, 2015). Quelques autres pays de la région ont considérablement élargi leur couverture du traitement des eaux usées. On compte parmi les pays qui traitent plus de la moitié de leurs effluents urbains le Brésil, le Mexique et l'Uruguay (Lentini, 2015). Des plans de grande envergure en faveur de l'augmentation du traitement des eaux usées sont prévus dans de nombreuses grandes villes telles que Buenos Aires, Bogota, Lima, Mexico et São Paulo (Ballesterio et al., 2015), mais la plupart d'entre eux sont reportés depuis des années en raison de contraintes financières et institutionnelles. Les eaux usées traitées pourraient représenter pour ces villes une importante source d'approvisionnement en eau, surtout pour celles qui se situent dans des zones arides (Lima, par exemple), où celles pour lesquelles de longs acheminements sont nécessaires pour répondre à une demande croissante (comme c'est le cas pour São Paulo).

Le développement du traitement des eaux usées urbaines nécessite des investissements conséquents que ces pays, encore récemment, ne pouvaient se permettre. Il faudrait que



**La région compte quatre mégalopoles de plus de 10 millions d'habitants, et devrait en compter deux de plus d'ici 2030**

l'Amérique latine et les Caraïbes investissent plus de 33 milliards de dollars américains pour porter la couverture de traitement des eaux usées à 64 % d'ici 2030 (Mejía et al., 2012). D'après une autre étude, il faudrait 30 milliards de dollars américains pour réduire de moitié le taux actuel d'eaux usées qui ne sont pas traitées (Lentini, 2015). En outre, près de 34 milliards de dollars américains seraient nécessaires à l'expansion des systèmes d'évacuation des eaux pluviales (Mejía et al., 2012), ce qui permettrait de réduire la pollution due aux eaux de ruissellement urbain non maîtrisées. Il s'agit là d'un aspect crucial en matière de gestion des eaux usées urbaines qui a d'importantes incidences sur les plans économique et social : étant donné qu'une grande partie de la région se trouve dans des zones tropicales ou subtropicales, caractérisées par de fortes précipitations, et que la plupart des villes sont dépourvues d'infrastructures appropriées en matière d'évacuation des eaux pluviales, les inondations urbaines y sont fréquentes, coûteuses, et touchent une grande partie de la population.

### 13.4 Avantages du traitement des eaux usées urbaines

Les investissements en faveur du traitement des eaux usées urbaines se justifient non seulement au regard des avantages sanitaires et environnementaux qu'ils présentent, mais aussi en raison de leurs incidences positives sur le développement socio-économique. Ainsi, au Chili, par exemple, le développement du traitement des eaux usées a produit les avantages suivants : i) de l'eau propre pour des milliers d'hectares de terres irriguées et la production de cultures à forte valeur ajoutée ; ii) la mise en valeur du secteur du tourisme et des loisirs nautiques ; iii) la réduction du risque lié à la diminution de la valeur des exportations de produits agricoles en raison de possibles réclamations concernant l'irrigation avec des eaux usées ; iv) une compétitivité accrue des produits nationaux non polluants et de qualité sur les marchés





**Il faudrait  
30 milliards de dollars  
des américains pour  
réduire de moitié le  
taux actuel d'eaux usées  
qui ne sont pas traitées**

extérieurs ; v) une augmentation du nombre d'emplois liés aux exportations et au secteur du tourisme ; et vi) l'amélioration de la qualité des plans d'eau utilisés en tant que sources de l'approvisionnement en eau (SISS, 2003). En outre, le développement du traitement des eaux usées urbaines a également permis : vii) la récupération et l'utilisation du méthane pour la production d'énergie et l'approvisionnement en gaz domestique, et donc la réduction des émissions de GES ; et viii) l'utilisation des eaux usées, non seulement à des fins d'irrigation, mais aussi à des fins industrielles, entre autres.

### 13.5 Autres sources d'eaux usées

Tandis que le traitement des eaux usées urbaines s'est développé, d'autres enjeux environnementaux sont apparus, notamment le traitement des boues d'épuration (Rojas Ortuste, 2014) et la pollution agricole diffuse, qui représente la principale source de dégradation de la qualité de l'eau dans bon nombre de bassins et d'aquifères. L'augmentation des exportations de produits agricoles de la région s'est accompagnée d'une aggravation de la pollution due au ruissellement et aux infiltrations d'eaux usées agricoles contenant des engrais, des pesticides et d'autres substances agrochimiques, dont l'utilisation n'est le plus souvent pas ou peu contrôlée. D'importantes pollutions de l'eau dues à l'irrigation ont été signalées, par exemple en République dominicaine, au Mexique, au Nicaragua, au Panama, au Pérou et au Venezuela (Zarate et al., 2014). Ce type de contamination est particulièrement préoccupant lors qu'il s'agit

d'eaux souterraines, puisqu'il s'agit d'une source importante d'approvisionnement en eau, à la fois à usage domestique et pour l'irrigation.

### 13.6 Enseignements

Les principaux enseignements tirés de l'expérience de la région en matière de gestion des eaux usées sont les suivants :

- la conception de tout programme de gestion des eaux usées devrait tenir compte des contraintes structurelles des économies nationales, examiner soigneusement toutes les solutions disponibles (en matière de technologies, de sources de financement, de structure de la propriété, de mesures d'incitation, etc.), et le programme en question doit être structuré et échelonné de façon à ne pas finir par peser sur l'économie et les citoyens ;
- les priorités des gouvernements, dont témoignent les allocations budgétaires et la mise sur pied d'institutions efficaces, ainsi que la non-ingérence politique dans les prises de décisions d'ordre technique, sont essentielles, tout comme l'est la recherche de l'efficacité (ce qui passe par un examen attentif des coûts et des profits ; une mise en œuvre, une application et un contrôle effectifs ; la réduction des coûts de transaction ; la lutte contre la corruption et la captation ; la qualité des informations ; l'exploitation des économies d'échelle et de gamme, etc.) ; et
- afin d'exploiter au mieux les avantages de la gestion des eaux usées tout en évitant les coûts excessifs, il importe de préférer les plans intégrés portant sur les bassins fluviaux qui prévoient à la fois le traitement et la réutilisation des eaux usées aux approches axées sur des projets individuels et limitées à un seul secteur.

## QUATRIÈME PARTIE

# RÉPONSES POSSIBLES

**Chapitre 14** | Prévenir et réduire la production d'eaux usées ainsi que les charges polluantes à la source

**Chapitre 15** | Renforcer la collecte et le traitement des eaux usées

**Chapitre 16** | Réutilisation de l'eau et récupération des ressources

**Chapitre 17** | Connaissances, innovation, recherche et renforcement des capacités

**Chapitre 18** | Créer un environnement favorable





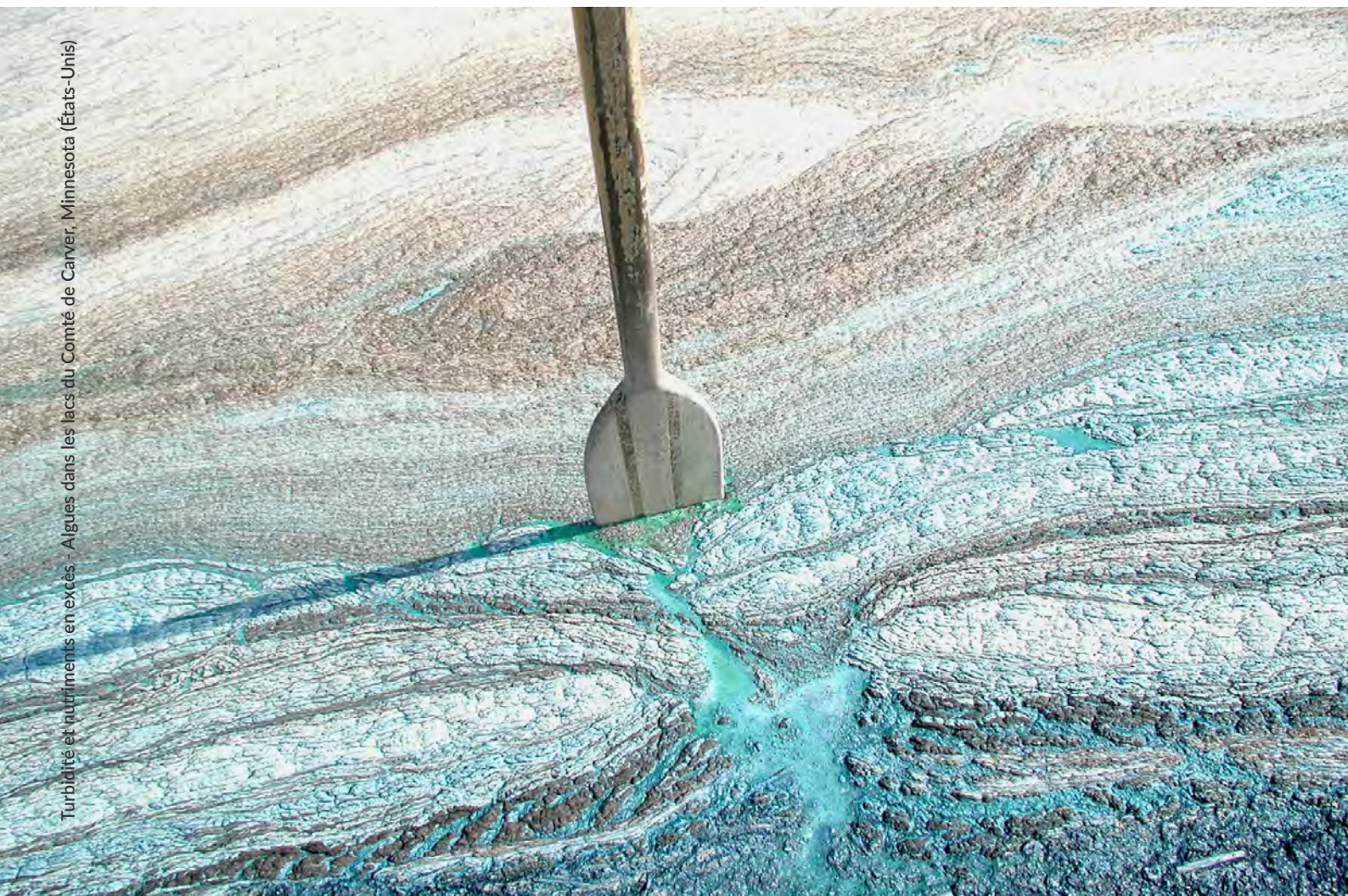
# CHAPITRE 14

PNUE | Birguy M. Lamizana-Diallo, Andrea Salinas, Elisa Tonda, Liazzat Rabbiosi et Llorenç Milà i Canals ; et Donna Spencer (PNUE-Programme pour l'environnement des Caraïbes)

Avec des contributions de : Sasha Koo-Oshima (US EPA) ; Jack Moss (AquaFed) ; Jenny Grönwall (SIWI) ; et Claudia Wendland (WECF)

## PRÉVENIR ET RÉDUIRE LA PRODUCTION D'EAUX USÉES ET LES CHARGES POLLUANTES À LA SOURCE

Turbidité et nutriments en excès - Algues dans les lacs du Comté de Carver, Minnesota (États-Unis)



*Ce chapitre présente les différents mécanismes institutionnels, techniques et financiers visant à réduire et prévenir les rejets de polluants dans les effluents et à réduire les volumes d'eaux usées.*

Le proverbe du Cachemire selon lequel « il est aisé de jeter quelque chose dans la rivière, mais malaisé de l'en retirer » résume bien l'importance que revêtent les mesures de prévention de la pollution. En effet, les actions correctives qui sont menées en vue de décontaminer les sites et les masses d'eau polluées sont souvent bien plus coûteuses que les mesures de prévention de la pollution.

Par conséquent, les approches en matière de lutte contre la pollution de l'eau axées sur la prévention et la limitation des eaux usées, au moyen, par exemple, de la réduction de la consommation d'eau, de l'amélioration en usine des matières premières et des procédés de fabrication, ainsi que du recyclage des résidus, devraient être préférées aux traitements classiques en bout de chaîne chaque fois que cela s'avère possible. Plus généralement, la gestion durable des ressources en eau s'oriente vers une dissociation entre la consommation et la pollution de l'eau d'une part, et le développement économique d'autre part (PNUE, 2015c). Afin d'éviter de simplement déplacer les problèmes entre les différents stades du cycle de vie ou les secteurs de l'environnement, il importe aussi d'examiner de quelle façon l'eau est utilisée et contaminée dans l'ensemble des systèmes de production et de consommation, plutôt que de s'intéresser uniquement à une étape en particulier, comme le traitement des eaux usées, et se retrouver, par exemple, à dépolluer les eaux usées tout en continuant de polluer l'atmosphère (PNUE, 2012a).

Il convient, pour que cela soit possible, de bénéficier d'un environnement favorable fait de politiques de soutien rigoureusement mises en oeuvre, notamment par l'application de règlements et de sanctions, de technologies propres et efficaces et de mécanismes financiers novateurs (voir encadré 14.1).

## 14.1 Mécanismes de surveillance et de lutte contre la pollution

Les échanges commerciaux et les conditions du marché peuvent avoir des conséquences considérables sur la production d'eaux usées et la pollution issue des activités productives. Ainsi, 19 % de l'empreinte sur l'eau mondiale n'est pas due à la consommation nationale mais aux exportations (Mekonnen et Hoekstra, 2011). Les approches quantitatives et axées sur les sciences telles que les

analyses du cycle de vie (ACV) sont, à cet égard, pertinentes et permettent d'éviter des politiques qui favorisent « l'exportation » des industries les plus polluantes en vue de réduire les problèmes liés aux eaux usées au plan national (PNUE, 2012b).

Les exigences en matière de certification relatives aux produits biologiques présentent un intérêt particulier puisqu'un recours limité aux pesticides contribue à réduire la pollution chimique des eaux usées. D'autres systèmes d'étiquetage, tels que les labels écologiques ISO 14024 de type 1<sup>11</sup> (l'Ecolabel Européen, Nordic Swan, ou le label allemand Blauer Engel), comprennent le plus souvent des critères relatifs aux eaux usées pour les produits concernés, et couvrent en général les principaux impacts au cours du cycle de vie du produit. De caractère facultatif, ces dispositifs d'information sur les produits constituent une mesure d'incitation en faveur de l'accroissement de la compétitivité des entreprises, compte tenu de la tendance actuelle des marchés à soutenir la production sans produits chimiques, les emballages recyclés et autres pratiques respectueuses de l'environnement. Cependant, la plupart des produits commercialisés ne sont pas certifiés, ce qui limite l'impact de ces démarches basées sur le volontariat.

Le contrôle et la notification des rejets de polluants dans l'environnement, tout comme la qualité de l'eau ambiante, sont également essentiels pour réaliser des progrès. Lorsque quelque chose ne peut être mesuré, il est impossible de déterminer le problème et l'efficacité des politiques est difficilement évaluable. Avec l'adoption du Programme de développement durable à l'horizon 2030 (voir chapitre 2) et le lancement de la Global Enhanced Monitoring Initiative (GEMI) dans le cadre d'ONU-Eau, le contrôle régulier de la qualité de l'eau ambiante et du traitement des eaux usées devrait permettre d'orienter les mécanismes nationaux de surveillance et de communication de l'information et d'établir à terme des comparaisons au niveau mondial.

La mise en place de registres des rejets et transferts des polluants (PRTR) permet de fournir de précieuses expériences susceptibles d'être

<sup>11</sup> Global Ecolabelling Network, association de systèmes d'étiquetage nationaux dans plus de 25 pays (GEN, s.d.).



#### ENCADRÉ 14.1 PRINCIPES DIRECTEURS POUR LA PRÉVENTION ET LA RÉDUCTION DE LA PRODUCTION D'EAUX USÉES

appliquées à la surveillance des eaux usées. Initialement conçus dans le cadre des Directives de l'UE, de l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) et des règles de l'OCDE, les PRTR nationaux sont à présent utilisés dans 33 pays pour mesurer les émissions de produits chimiques dans l'atmosphère, le sol et l'eau provenant de sites industriels (AEE, s.d.). Bien que les PRTR ne contiennent pas d'informations sur le traitement des eaux usées, ils recensent précisément les sources de pollution, ce qui permet d'étayer les décisions liées aux investissements en faveur de la modernisation ou construction d'installations de traitement. Parmi les autres initiatives en matière de surveillance, on trouve des évaluations d'impact environnemental, des analyses coûts-bénéfices concernant la production et la réutilisation des eaux usées, ainsi que des contrôles sanitaires. Leur application reste cependant limitée à certains projets ou à certaines entreprises.

Un ensemble de solutions est à la disposition des décideurs des secteurs public et privé en matière de prévention, de production, de surveillance et d'exploitation des eaux usées. Le secteur industriel a recours à différentes méthodes de recyclage de l'eau en vue de réduire ses coûts de production et de prélèvements, de se conformer aux règlements en matière d'environnement et d'effluents, et même éventuellement d'engranger des revenus. Certaines industries sont allées encore plus loin en adoptant des procédés de « rejet liquide nul » (ZLD), comme les industries textiles de Tirupur, en Inde (voir encadré 14.2). En outre, les initiatives de développement durable menées par l'industrie ont tendance à traiter les questions liées aux eaux usées ou à la pollution dans le cadre d'approches plus globales, en mettant au point des normes et des lignes directrices permettant d'évaluer la durabilité sur le plan environnemental et social, du point de vue d'un système axé sur le cycle de vie (voir section 6.4).

Les nouveaux ODD, en particulier la cible 6.3 relative à la qualité de l'eau et l'objectif 12 en faveur de modes de consommation et de production durables, vont permettre de favoriser

1. Prévenir la pollution plutôt que s'attaquer à ses symptômes. Accorder la priorité à la lutte contre la pollution de l'eau et s'attaquer aux causes de la contamination, en déterminant quelles sont les substances dangereuses qui doivent être interdites ou strictement réglementées (en créant par exemple des « listes rouges »), et en fournissant des conseils et des orientations aux usagers.
2. Appliquer le principe de précaution. Les mesures visant à éviter les éventuels dommages environnementaux causés par des substances dangereuses ne doivent pas être reportées au motif qu'il n'existe pas de preuves scientifiques concluantes.
3. Appliquer le principe du « pollueur-payeur » en vertu duquel les coûts liés aux mesures de prévention, de lutte et de réduction de la pollution sont supportés par le pollueur. Ce type d'instrument économique vise à inciter et encourager les comportements les moins préjudiciables pour l'environnement.
4. Établir des normes et règlements réalistes. Les normes et règlements irréalistes et non applicables peuvent se révéler plus préjudiciables que l'absence même de normes et de règlements, car ils induisent une certaine indifférence envers ces dispositions, tant chez les pollueurs que dans l'administration.
5. Maintenir un équilibre entre les instruments économiques et réglementaires. En matière de pollution de l'eau, l'approche réglementaire permet aux autorités de déterminer quels objectifs environnementaux peuvent être réalisés, et aussi à quel moment (Bartone et al., 1994). Son principal inconvénient tient à son inefficacité sur le plan économique. Les instruments économiques incitent les pollueurs à changer de comportement tout en contribuant au financement des activités de lutte contre la pollution.
6. Adopter des mesures antipollution à l'échelon le plus bas possible. Il est possible de déterminer le niveau approprié comme étant celui auquel les effets les plus importants sont observés.
7. Mettre au point des mécanismes en faveur de l'intégration intersectorielle. Afin de garantir la coordination des efforts déployés par les différents secteurs liés à la ressource en matière de lutte contre la pollution de l'eau, il convient de mettre en place des mécanismes et des moyens officiels de coopération et de partage des informations.
8. Encourager la participation de l'ensemble des parties prenantes concernées. L'approche participative consiste à sensibiliser le grand public et les décideurs à l'importance que revêt la lutte contre la pollution de l'eau.
9. Garantir un accès libre aux informations sur la pollution de l'eau. Pour garantir la participation, il convient au préalable que les informations détenues par les autorités publiques soient mises à la disposition de tous.
10. Promouvoir la coopération internationale en matière de lutte contre la pollution. Il convient pour être efficace que la lutte contre la pollution des eaux transfrontalières, qui concerne le plus souvent les fleuves, repose sur la coopération internationale et la coordination des efforts.

Par ailleurs, l'application des principes et des meilleures pratiques de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans le cadre des projets et des programmes sous-sectoriels, en plus de favoriser la gestion multipartite ascendante, contribuera grandement à la lutte contre la pollution ainsi qu'à l'amélioration de la gestion de l'eau et des eaux usées.

Source : Adapté de Helmer et Hespanhol (1997, pp. 17-20).

l'élaboration des politiques et la mise en œuvre des mesures nécessaires. Dès lors, les processus nationaux de prévention de la pollution et de gestion des eaux usées devraient bénéficier des mécanismes de coopération internationale et de transfert de technologies, des dispositifs de renforcement des capacités, et d'autres moyens de mise en œuvre.

## 14.2 Réponses techniques

### 14.2.1 Une production propre et économe en ressources

La méthodologie axée sur une production propre et économe en ressources propose une démarche globale en termes de domaines abordés, et permet l'application continue de stratégies environnementales préventives à l'égard des produits, des processus et des services. Elle vise à promouvoir l'efficacité de la production par le biais d'une meilleure utilisation des matériaux, de l'énergie et de l'eau, d'une gestion rationnelle de l'environnement et de la réduction des déchets et des émissions, afin de créer un environnement plus sûr, présentant moins de dangers pour les citoyens et les communautés. Elle repose sur le concept de cycle de vie, appliqué aux chaînes de valeur des produits (à la fois pour les biens et les services) pour faire ressortir les principaux enjeux (dont celui des eaux usées), et propose un certain nombre de solutions pratiques axées sur la récupération et le recyclage des ressources, le recours à une production en circuit fermé, et l'allongement de la durée de vie des produits manufacturés, entre autres (PNUE, s.d. ; RECPnet, s.d.a.).

Il convient de mentionner, parmi tous les autres mécanismes, la promotion de l'utilisation rationnelle des ressources dans les petites et moyennes entreprises (PME).<sup>12</sup> Cet outil s'adresse aux PME puisque ces dernières sont majoritaires dans les secteurs tels que le textile, le nettoyage à sec, le finissage de métaux, l'imprimerie, l'alimentation et les boissons ainsi que certains sous-secteurs dans le domaine de l'électronique, lesquels présentent tous des taux élevés en matière d'utilisation d'eau, avec d'importantes répercussions environnementales et sociales. Les PME ont aussi davantage de difficultés à adopter une utilisation plus rationnelle des ressources et des méthodes de production moins polluantes en raison d'un manque d'information et de capacités techniques et financières (voir chapitre 6). L'encadré 14.3 propose des exemples concrets d'application de procédés de production propres et économes en ressources dans des PME de Tanzanie.

<sup>12</sup> Pour plus d'informations, voir [www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/ResourceEfficientCleanerProduction/Activities/PromotingResourceEfficiencyinSMESPRE-SME/Resources/ResourceKit/tabid/105557/Default.aspx](http://www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/ResourceEfficientCleanerProduction/Activities/PromotingResourceEfficiencyinSMESPRE-SME/Resources/ResourceKit/tabid/105557/Default.aspx).

**Afin de réduire la consommation d'eau et de lutter contre les rejets de contaminants et de sous-produits, il est indispensable de favoriser les approches participatives, d'assurer une meilleure communication et de mener des activités de sensibilisation et d'éducation**

#### ENCADRÉ 14.2 REJET LIQUIDE NUL DANS LES INDUSTRIES TEXTILES DE TIRUPUR (INDE)

L'industrie de la teinture et du blanchiment de Tirupur, la « ville des tricots » du sud de l'Inde, est réputée pour être la première à avoir adopté le rejet liquide nul (ZLD) de façon systématique, et à éliminer par là même les émissions de polluants. Les composantes de ce procédé, et notamment l'osmose inverse, permettent de récupérer et de réutiliser l'eau et les sels de façon très efficace, tout en minimisant les besoins en eau douce.

Afin de préserver la qualité de la production, les teinturiers de Tirupur faisaient auparavant livrer de l'eau douce en camion jusqu'à ce qu'un dispositif public-privé d'approvisionnement en eau soit mis en place, en partie grâce à un financement de l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID). Étant donné que l'eau coûte relativement cher, sa réutilisation présente un intérêt évident du point de vue économique, mais il convient aussi de tenir compte des coûts énergétiques et opérationnels élevés des équipements nécessaires au procédé ZLD.

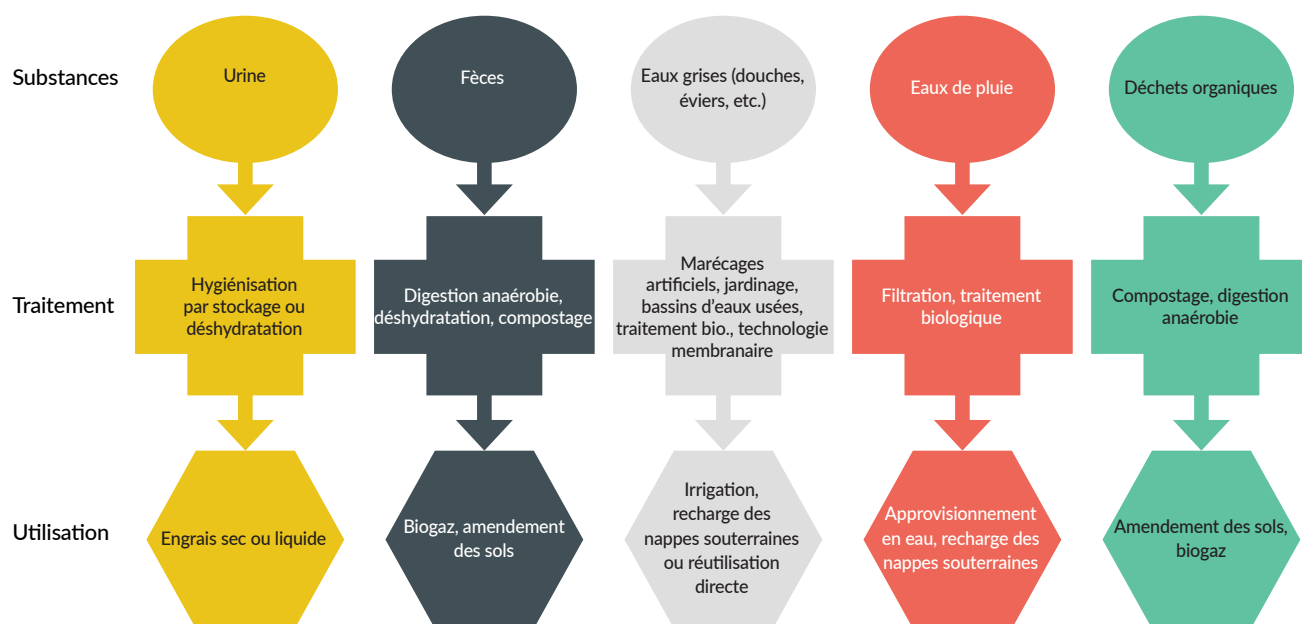
Au milieu des années 1980, il n'existait pas de normes concernant les effluents. L'évolution de la situation a été initiée par différents acteurs. Les agriculteurs de la région ont soutenu les premières initiatives, tout comme la Commission de lutte contre la pollution et l'appareil judiciaire. C'est cependant à la Haute Cour que l'on doit les incitations visant à changer les comportements en profondeur, et ce par étapes progressives : après avoir ordonné la fermeture de toutes les teintureries en 2011, le Gouvernement a offert un prêt à taux zéro de 2 milliards de roupies (environ 30 millions de dollars américains) en faveur de l'amélioration des opérations de traitement.

Même si l'on ne parviendra sûrement pas à une parfaite conformité à court ou moyen terme, un nouveau régime de production axé sur le procédé ZLD est maintenant en place à Tirupur.

Source : Grönwall et Jonsson (à paraître).

Contribution de Jenny Grönwall (SIWI).

**Figure 14.1** Tri des déchets et possibilités d'utilisation



Source: UNESCO-PHI/GTZ (2006, fig. 4, p. 15).

### 14.2.2 Des techniques écologiquement rationnelles pour la séparation et le traitement des eaux usées domestiques

Les techniques écologiquement rationnelles (écotechniques) ont été définies dans le Chapitre 34 de l'Agenda 21 comme des techniques qui protègent l'environnement, sont moins polluantes, utilisent de façon plus durable toutes les ressources, autorisent le recyclage d'une proportion plus importante de leurs déchets et produits, et surtout un traitement des déchets résiduels plus acceptable que celui que permettraient les techniques qu'elles remplacent (CNUED, 1992, point 34.1). En ce sens, les systèmes de traitement des eaux usées sur site, axés sur le rejet liquide nul et la séparation des effluents peuvent être considérés comme des écotechniques. Il est néanmoins préférable de mener

#### ENCADRÉ 14.3 EXEMPLES DE PRODUCTION PROPRE ET ÉCONOME EN RESSOURCES EN TANZANIE

Le cas de deux PME tanzaniennes met en évidence les avantages que représentent les approches préventives, telles que la production propre et économe en ressources, à la fois du point de vue de l'impact environnemental, et notamment pour ce qui est des eaux usées, et de l'intérêt économique que les entreprises en retirent.

La société Musoma Textile Mills Tanzania Limited (MUTEX) a suivi un programme de formation visant à perfectionner son utilisation des ressources et à améliorer ses résultats en matière d'environnement. On compte parmi les avantages significatifs obtenus la récupération de ressources (soude caustique), une utilisation plus rationnelle de l'eau et de l'énergie, une réduction des émissions, des déchets solides et des eaux usées, et l'amélioration des conditions de sécurité et de santé au travail. Le programme dans son ensemble a permis d'économiser plus de 293 322 dollars américains par an.

L'usine de la société Tanzania Breweries Limited, dans la région de Mwanza (Tanzanie), a choisi d'adopter un programme de production propre et économe en ressources en vue de réduire sa consommation d'eau et d'énergie, sa production de déchets et ses coûts opérationnels, tout en contribuant au développement durable dans le monde et en améliorant son image de marque. La mise en œuvre du programme dans la société a permis d'économiser annuellement 37 500 dollars américains sur les dépenses en eau et 56 250 dollars sur les consommations d'énergie, de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 50 %, la production de déchets solides de 39 % et la production d'eaux usées de 42 %.

Source : RECPnet (s.d.b.) et CPCT (s.d.).

#### ENCADRÉ 14.4 FONDS RÉGIONAL DES CARAÏBES POUR LA GESTION DES EAUX USÉES (CReW)

Dans l'ensemble de la région des Caraïbes, il est bien souvent extrêmement difficile de mobiliser des fonds en faveur de l'éducation, de la santé, de l'approvisionnement en eau potable et de la gestion des eaux usées, ce dernier secteur étant systématiquement celui qui bénéficie le moins des investissements. Pourtant, en l'absence des investissements voulus, les rejets d'eaux usées non traitées se poursuivront, ce qui représente une menace pour le développement économique de la région et la qualité de vie de ses habitants. Le CReW, financé par le FEM et mis en œuvre par la Banque interaméricaine de développement (BID) et le PNUE constitue un moyen de remédier à l'insuffisance des fonds en faveur des infrastructures liées aux eaux usées dans la région.

Deux mécanismes de financement ont été mis à l'essai dans le cadre du projet : des fonds renouvelables (au Belize, à la Trinité-et-Tobago et en Guyane) et un mécanisme d'amélioration des modalités du crédit (en Jamaïque). Ce dernier a été mis sur pied avec une réserve de garantie de 3 millions de dollars américains assurée par le CReW en tant que financement à effet de levier pour un montant supplémentaire de 9 millions de dollars destiné à des projets relatifs aux eaux usées. La majoration de coefficient K, instaurée en 2008 pour les services des eaux usées, sert à rembourser les fonds au FEM. Ce modèle novateur incite à consacrer les fonds récoltés dans le cadre de la perception mensuelle de la majoration (soit une partie du tarif de l'eau) au service de la dette liée aux prêts consentis par de grandes banques commerciales, plutôt que de les utiliser directement pour les investissements en capital dans le secteur. Le Belize, Trinité-et-Tobago et la Guyane se servent des ressources du CReW (5 millions, 3 millions et 2 millions de dollars américains respectivement) pour créer des fonds renouvelables qui permettent à leurs opérateurs du service des eaux de bénéficier de prêts qui servent au financement de certains projets relatifs aux eaux usées. Le renflouement de ces fonds renouvelables dépend des recettes principalement issues des intérêts produits par ces prêts et du régime tarifaire. La Guyane constitue un exemple particulier puisque les fonds y sont principalement affectés au secteur privé.

Cette expérience a notamment permis de retenir que la viabilité du financement du secteur des eaux usées dépend essentiellement de la volonté des gouvernements ; du caractère approprié des politiques, des lois et des règlements du pays ainsi que de leur degré d'application ; et de la disponibilité constante de fonds dédiés à l'exploitation, à la maintenance et à la modernisation des installations. Le projet a contribué à mieux faire connaître i) la question de la mauvaise gestion des eaux usées auprès des décideurs ; ii) l'importance que revêt la gestion intégrée de l'eau et des eaux usées ; iii) les méthodes innovantes en matière de financement de la gestion des eaux usées ; et iv) les conditions de la viabilité du financement du secteur.

Source : CReW (s.d.) et Daniels (2015).

**Trier les déchets à la source peut s'avérer plus aisée et plus rentable que de tenter de les séparer une fois mélangés tous ensemble**

une analyse du cycle de vie afin de comparer les performances environnementales (ainsi que sociales et économiques) de telle ou telle technologie dans des conditions géographiques différentes, de façon à pouvoir déterminer quelles sont les écotechniques les plus adaptées à un contexte particulier.

D'importants efforts ont été déployés en recherche et développement au cours des 20 dernières années en matière de tri à la source, en prenant en considération à la fois les procédés rudimentaires et les techniques de pointe, dans les environnements urbains comme ruraux, et à différentes échelles (Andersson et al., 2016). Trier les déchets à la source peut s'avérer plus aisée et plus rentable que de tenter de les séparer une fois qu'ils sont tous mélangés.

Les systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS) et l'assainissement écologique (EcoSan), notamment, font figure de solutions prometteuses en vue de concilier le développement socio-économique et l'accès aux services de base pour les communautés les moins favorisées. Ces systèmes de traitement permettent de se passer de procédés de contrôle et de maintenance sophistiqués, et sont économes en eau et en énergie. Ils offrent aussi la possibilité de récupérer des nutriments pour le secteur agricole, ce qui contribue à préserver la fertilité des sols, à garantir la sécurité alimentaire, à minimiser la pollution de l'eau et le recours aux engrais synthétiques, et aussi parfois à produire de la bioénergie (voir section 15.4).

On considère, dans le cadre de l'assainissement écologique, les excréments humains, les déchets organiques et les eaux usées comme des ressources dotées d'un fort potentiel en matière de réutilisation de l'eau et de recyclage des composants. Il s'agit pour l'essentiel d'installations sanitaires « à sec ». Le principal avantage que présentent les toilettes sèches avec dérivation de l'urine, un exemple d'assainissement écologique, par rapport aux latrines à fosse classiques, réside dans la séparation de l'urine et des selles et la transformation de ces dernières en matière sèche, sans odeurs et sans danger (voir figure 14.1). Le risque de pollution des eaux souterraines et de surface est limité, du fait du parfait confinement des selles et de l'urine.



### 14.3 Approches financières et évolution des comportements

Concernant l'encadré 14.1 consacré aux principes directeurs, il convient de rappeler que de nombreux accords multilatéraux sur l'environnement prévoient des mesures d'incitation économique visant à prévenir et réduire la production d'eaux usées, qui peuvent notamment s'accompagner du principe de précaution, du principe du pollueur-payeur, de partenariats public-privé et de politiques novatrices en matière de tarification. Les encadrés 14.4 et 14.5 illustrent les réussites en matière de recours à des mécanismes financiers novateurs aux Caraïbes et aux États-Unis.

Un changement radical des comportements est primordial pour inverser la tendance actuelle en matière de production d'eaux usées. Afin de réduire la consommation d'eau et de lutter contre les rejets de contaminants et de sous-produits, il est indispensable de favoriser les approches participatives, d'assurer une meilleure communication et de mener des activités de sensibilisation et d'éducation.

**Les échanges commerciaux et les conditions du marché peuvent avoir des conséquences considérables sur la production d'eaux usées et la pollution issue des activités productives**

#### ENCADRÉ 14.5 FONDS D'ÉTAT RENOUVELABLES EN FAVEUR DES INFRASTRUCTURES D'EAUX USÉES

Aux États-Unis, les Fonds d'État renouvelables comptent parmi les programmes de financement durable, à taux préférentiel, de projets menés dans le secteur de l'eau et qui sont favorables à l'environnement, notamment parce qu'ils assurent la préservation de la santé publique et la conservation des bassins versants locaux. Les contributions au niveau national et des États permettent de financer des prêts en faveur d'une grande variété de projets liés à la qualité de l'eau, notamment en matière de gestion des eaux de ruissellement, de protection des bassins versants ou de restauration des estuaires, ainsi que des projets plus classiques de traitement des eaux usées municipales, tels que les projets de conservation et de réutilisation de l'eau.

Ces fonds permettent aux États d'assurer le financement de leurs projets prioritaires dans le domaine de la qualité de l'eau, grâce à une méthode de notation pour l'évaluation des projets. Les sommes nécessaires à la création ou à la capitalisation des programmes du fonds d'État renouvelable pour une eau salubre (CWSRF) proviennent de subventions du gouvernement fédéral accordées par l'intermédiaire de l'US EPA ou de financements complémentaires de la part des États, équivalents à 20 % de la subvention du gouvernement fédéral. Ces fonds sont prêtés aux collectivités à des taux d'intérêt inférieurs à ceux du marché, et les montants remboursés sont réinjectés dans le programme de façon à assurer le financement d'autres projets relatifs à la protection de la qualité de l'eau. Le caractère renouvelable de ces programmes permet de disposer d'une source constante de financement, qui se poursuivra à l'avenir.



Source : US EPA (s.d.c.)

Contribution de Sasha Koo-Oshima (US EPA).

L'usine de traitement des eaux usées du Comté d'Escambia, en Floride (USA), détruite par l'ouragan Ivan, remplacée et réimplantée loin de la plaine côtière, et construite pour être plus résistante. L'usine réutilise à présent 100 % de son eau.

# CHAPITRE 15

ONU-HABITAT | Graham Alabaster, Andre Dzikus et Pireh Otieno

Avec la contribution de : Xavier Leflaive (Direction de l'environnement de l'OCDE)

## RENFORCER A COLLECTE ET LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES



Installation de digestion des boues dans une usine de traitement des eaux usées, qui produit du méthane et fournit de l'énergie

Ce chapitre passe en revue un certain nombre de solutions et de mesures permettant de renforcer la collecte et le traitement des eaux usées, en mettant particulièrement l'accent sur les systèmes décentralisés à faible coût.

## 15.1 Égouts et assainissement hydrique

L'importance des réseaux d'assainissement en tant que moyen pour éloigner les déchets de l'environnement humain et des activités économiques a été amplement démontrée, tout comme leurs effets induits. Malgré l'existence d'autres solutions plus acceptables sur le plan écologique, l'évacuation des déchets à l'aide de l'eau demeure la principale méthode d'assainissement et d'évacuation des eaux usées des sources domestiques, commerciales et industrielles. D'autres solutions en matière d'assainissement, comme les systèmes sur site, sont parfaitement adaptées aux zones rurales et aux environnements faiblement peuplés, mais ils sont coûteux et difficilement envisageables dans des milieux urbains denses, excepté dans les économies les plus avancées. Bien souvent, la collecte et l'évacuation des boues fécales à partir des installations autonomes (sur place) continuent de poser de sérieuses difficultés. Une étude récente menée dans la ville de Kampala (IWMI, 2012) a révélé que plus de 80 % des usagers de ce type d'installations n'avaient jamais vidangé de latrines individuelles, et que plus de 60 % des boues collectées provenaient de sources institutionnelles ou commerciales (voir figure 4.4).

Il existe une corrélation (dans une mesure plus ou moins grande) entre le nombre de foyers raccordés à des réseaux d'égouts et les taux de raccordement à l'approvisionnement en eau, dans des proportions toutefois bien plus faibles. Des rapports récents (UNICEF/OMS, 2015) établissent clairement que, de par le monde, la proportion de personnes raccordées à un réseau d'égouts (60 %) est plus élevée qu'on ne le pensait précédemment. Même dans les zones rurales, où les raccordements sont en général assez rares, une part non négligeable de la population (16 %) bénéficie de ce service. Cela vient contredire certaines estimations antérieures faisant état d'un taux de 10 %, au mieux (Corcoran et al., 2010) (voir figure 5.1).

Dans les pays développés et en transition, de nombreuses villes sont dotées de vastes réseaux d'égouts, dont certains sont toujours en fonction près d'un siècle après leur construction. À Londres, les égouts collecteurs datant de l'époque victorienne font toujours partie du réseau actuel. Les complications viennent de l'urbanisation grandissante et des raccordements en trop grand nombre qui conduisent à dépasser la capacité initialement prévue pour certains réseaux d'égouts. Les systèmes vétustes de collecte des eaux usées posent un certain nombre de problèmes : corrosion du béton, fissures, affaissements ou obstructions, entre autres. Y remédier peut s'avérer très coûteux. Il a été estimé par l'US EPA (2016) que la rectification des déversements d'égouts unitaires, la remise en état et le remplacement des systèmes d'évacuation existants, et la mise en place de nouveaux

systèmes de collecte des eaux usées représentent 52 % des 271 milliards de dollars américains d'investissements nécessaires pour répondre aux besoins du pays en matière d'infrastructures des eaux usées.

## 15.2 Réseaux d'assainissement à faible coût

Compte tenu des coûts élevés des réseaux d'assainissement classiques, des solutions à faible coût en la matière ont été mises au point en réponse aux difficultés rencontrées par la plupart des pays en développement, à savoir une tarification peu élevée doublée de budgets publics insuffisants, une grande pauvreté et des infrastructures coûteuses. Il existe différents types de systèmes à faible coût, mais ils consistent le plus souvent en des réseaux de canalisations de plus faible diamètre, déployées en pente plus douce et moins profondément dans le sol. Les principes de conception sont donc différents de ceux des réseaux d'assainissement classiques, et sont par ailleurs axés sur l'idée que des eaux d'égout dépourvues de solides transitent par le système, lequel est muni de récupérateurs (semblables à de petites fosses septiques) qui collectent les eaux usées brutes d'un ou de plusieurs logements. Ces systèmes se prêtent bien à une gestion collective et sont aussi tout indiqués pour étendre et élargir les réseaux déjà en place. Ils présentent en revanche l'inconvénient de ne pas convenir à l'évacuation des eaux pluviales.

Ce concept a pour la première fois été mis en œuvre au Brésil par Carlos Melo (2005). Les réseaux d'assainissement à faible coût sont à présent la méthode que privilégient les quartiers de toute catégorie de revenus, car ils présentent toutes les caractéristiques requises pour être la norme *de facto* en matière de réseaux d'assainissement. Cependant, le conservatisme qui règne parmi les autorités de santé publique et les ingénieurs sanitaires s'est traduit par un recours à ces systèmes assez peu fréquent dans le monde. L'Australie a adopté des procédés à faible coût dans certaines parties du pays (Palmer et al., 1999) et les systèmes de ce type devraient gagner en popularité. On peut aussi y avoir recours pour raccorder des communautés satellites à des systèmes centralisés ou, comme cela a été le cas, dans les zones où sont installés des réfugiés (Van de Helm et al., 2015) (voir section 10.2.1). Mara et Alabaster (2008) préconisent le recours à des systèmes en réseau entre quartiers comme moyen rentable d'assurer ces services à des centres urbains secondaires de plus petite taille. Peu d'évaluations de cette technologie ont pour le moment été menées, mais les données relatives aux coûts, notamment dans des pays comme le Brésil, montrent clairement qu'elle peut être viable sur le plan financier. Au Brésil, il a été démontré que les coûts liés au réseau d'assainissement simplifié (un type de réseau



d'assainissement à faible coût) par personne étaient deux fois moindres que pour un réseau classique (c'est à dire 170 dollars contre 390 dollars américains) (Mara, 1996).

### 15.3 Réseau d'égout unitaire

Il convient, tout particulièrement en matière de collecte des eaux usées, de tenir compte de la source de ces eaux. Dans les réseaux anciens, comme celui de Paris, les égouts d'origine (qui datent de 1852) ont été uniquement conçus pour les eaux pluviales et les eaux grises, un décret ultérieur de 1894 ayant imposé aux propriétaires de déverser toutes les eaux usées, y compris les eaux-vannes, dans les réseaux unitaires (Bernhardt et Massard-Guilbaud, 2002 ; Tréhu, 1905). Bien que des usagers très variés soient raccordés aux réseaux d'égouts, la plupart des systèmes ont été conçus en tant que « systèmes unitaires » dans lesquels les eaux pluviales et autres types de ruissellements urbains sont évacués vers les égouts. Il s'agissait sans doute là d'une volonté de limiter les coûts élevés qu'aurait entraînés l'achat de canalisations de plus large diamètre, mais cela s'est traduit par une dilution des eaux d'égout en période de fortes précipitations. Si cela a pu être acceptable à une époque où les densités de population étaient faibles et où la capacité d'assimilation des eaux réceptrices était appropriée, les évolutions récentes et l'extension des villes ont abouti à une association complexe et souvent nocive de différentes substances chimiques et biologiques. Les réseaux d'égouts unitaires ne sauraient par conséquent être considérés comme une solution efficace. En vue d'abandonner progressivement ces systèmes, de nombreux efforts ont été déployés en faveur de systèmes durables d'évacuation des eaux en milieu urbain (procédés SUDS, « sustainable urban drainage systems ») (Armitage et al., 2013).

Les réseaux d'égouts sont adaptés à la pollution dite ponctuelle, mais la véritable difficulté tient à la façon dont il convient de traiter la pollution diffuse. Deux des sources principales en la matière sont les écoulements en provenance des terres agricoles traitées à l'aide d'engrais, et les écoulements en provenance de zones d'élevage intensif, puisque les substances administrées dans le cadre des soins vétérinaires se retrouvent bien souvent dans l'eau (voir chapitre 7). Bien que de nombreuses exploitations agricoles intensives mettent en place des dispositifs de collecte et de traitement (voir encadré 15.1), cette pratique n'est pas encore généralisée du fait des coûts importants qu'elle suppose et/ou des insuffisances en matière de réglementation ou d'application des règlements (FAO, 2005).

### 15.4 Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS)

Parallèlement aux stations de traitement des eaux usées centralisées, les systèmes décentralisés ont également connu un essor important. De nombreuses approches en matière de systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS), initiées par des organisations telles que la Bremen Overseas Research and Development

Association (BORDA) et la CDD Society (Consortium for DEWATS Dissemination Society), ont rapidement trouvé la place qui leur revenait parmi les systèmes d'assainissement adaptés aux zones urbaines en plein essor, et aussi à certaines communautés isolées pour lesquelles les réseaux d'assainissement classiques sont exclus pour des raisons d'ordre économique. Les techniques DEWATS et les réseaux d'assainissement à faible coût (voir section 15.2) sont naturellement complémentaires. Les techniques DEWATS peuvent aussi servir de solution à moyen terme, en attendant la mise au point de vastes systèmes centralisés, d'autant plus qu'elles offrent une grande souplesse d'utilisation.

Il se pourrait en effet que les systèmes de traitement des eaux centralisés de grande ampleur ne constituent plus la solution la plus viable en matière de gestion des eaux usées dans bon nombre de pays, et ce en raison de leurs coûts de maintenance élevés et de l'importance des ressources qu'ils requièrent. Ils nécessitent par ailleurs le plus souvent de grandes surfaces de terrain et n'offrent pas la souplesse nécessaire pour s'adapter aux zones urbaines qui s'étendent rapidement. Cela vaut pour l'approvisionnement en eau comme pour les infrastructures d'eaux usées, la collecte des eaux pluviales ou le drainage.

Les techniques DEWATS desservent des habitations individuelles ou de petits lotissements. Ces systèmes permettent de récupérer des nutriments et de l'énergie, d'économiser l'eau douce et contribuent à assurer l'accès à l'eau en période de pénurie (OCDE, 2015b). Ils exigent en général moins d'investissements initiaux que les canalisations centralisées de plus grande envergure, et permettent davantage d'adapter les services (à la hausse ou à la baisse) en fonction des besoins. Il est cependant indispensable que des personnes avec un minimum de formation en assurent l'exploitation et la maintenance. Les quartiers durables des villes pourraient partiellement remplacer les systèmes publics traditionnels par des technologies décentralisées (OCDE, 2013b). Les techniques DEWATS posent toutefois le problème de leur acceptation par les communautés locales environnantes, c'est pourquoi des efforts doivent être faits pour rendre les stations acceptables sur le plan esthétique. C'est pour cette raison que les systèmes basés sur des roselières sont souvent plébiscités.

### 15.5 Gestion décentralisée des eaux pluviales

Le drainage décentralisé des eaux pluviales dispose d'un fort potentiel en matière de technologies de « contrôle à la source » permettant de gérer les eaux de pluie à proximité du lieu où l'écoulement se produit. Ainsi, les toits végétalisés ou autres surfaces perméables captent les eaux de pluie avant qu'elles ne s'écoulent dans les rues et sur les trottoirs contaminés. Ces solutions sont en mesure d'atténuer les débits de pointe et de réduire les risques d'inondations urbaines et de pollution, ainsi que les investissements en infrastructures lourdes et en installations de traitement



supplémentaires. Elles peuvent attirer les investissements privés en encourageant les promoteurs fonciers et immobiliers à investir dans de nouvelles constructions équipées de systèmes de drainage localisés. Cela peut nécessiter quelques modifications dans les dispositions réglementaires, puisque ce sont les règlements locaux qui, en dernier lieu, déterminent le choix final.

En revanche, le drainage décentralisé des eaux pluviales ne constitue qu'une solution de retenue temporaire, puisque les eaux de pluie doivent à terme être dirigées vers les réseaux d'égouts. Dans certains cas, les coûts de maintenance des systèmes décentralisés sont plus élevés, mais ces derniers permettent d'améliorer le bien-être des populations, l'absorption de la pollution atmosphérique et la rétention de l'humidité, ce qui participe à la diminution de la température ambiante, réduit l'effet d'îlot thermique urbain, et contribue à terme au verdissement des villes. Les systèmes décentralisés peuvent aussi servir à l'évacuation des eaux de ruissellement des axes routiers.

L'expérience acquise en matière de mise en œuvre et d'exploitation de systèmes d'assainissement et de drainage urbain décentralisés augmente. Néanmoins, certains obstacles demeurent, notamment en ce qui concerne les perceptions sociales et les problèmes de réaménagement, même si l'exemple de la ville de Suwon (voir encadré 15.2) prouve que ces obstacles ne sont pas insurmontables. Le manque de cohérence des politiques peut aussi poser problème, lorsque par exemple le prix de l'eau ne tient pas compte du coût de renonciation lié à l'utilisation de la ressource, ou encore lorsque le risque d'inondation urbaine n'est pas pris en compte dans le cadre de l'occupation des sols ou de l'aménagement urbain. Une autre difficulté vient du besoin de gérer les eaux usées à différents niveaux (des bâtiments individuels à la municipalité tout entière, ou même à des niveaux encore supérieurs). Il est possible de surmonter ces obstacles en optant à la fois pour des campagnes d'information, une approche gouvernementale globale en matière de gestion des eaux usées (qui inclue les politiques, les lois et les réglementations), des modèles économiques pour les services d'eau et l'aménagement du territoire qui tiennent compte des externalités liées à la gestion des eaux usées, et une vision à long terme des défis du secteur des eaux usées et des possibilités en matière d'aménagement urbain.

## 15.6 Évolution des techniques de traitement

D'importants progrès ont été réalisés en matière de techniques de traitement depuis la mise au point des systèmes aérés (activation des boues et lits percolateurs) dans les années 1920. Le choix des systèmes de traitement a jusqu'à présent été guidé par les situations économiques prévalentes ou d'autres facteurs tels que le réchauffement climatique, le manque d'eau, les questions liées à la qualité de l'environnement ou à l'occupation des sols. Dans les centres urbains à croissance rapide du monde entier, la priorité a été accordée à la prévention des rejets de substances carbonées dans le but d'empêcher les eaux réceptrices d'être privées d'oxygène.

### ENCADRÉ 15.1 COLLECTE ET RECYCLAGE D'EAUX USÉES ISSUES DE SERRES EN ÉTHIOPIE

L'exploitation Sher Ethiopia produit des roses pour l'exportation et emploie près de 10 000 locaux. La culture des fleurs a lieu dans de grandes serres à proximité du lac Ziway, dans la ville éthiopienne du même nom, laquelle tire du lac son eau potable et son alimentation (au moyen de la pêche). L'eau du lac est aussi utilisée pour l'irrigation agricole, notamment des 500 hectares de roses.

Avant que le projet ne voie le jour, l'ensemble des eaux usées issues des serres (les eaux de ruissellement, l'eau servant au nettoyage des bacs, aux pulvérisateurs, à l'arrosage et aux fosses d'assainissement) était rejeté dans le lac sans être traitée. Depuis 2008, la société s'efforce d'aller vers le niveau zéro d'eaux usées, et d'en collecter la totalité pour les traiter dans des marais artificiels. Elles sont ensuite stockées dans des réservoirs avant d'être ajoutées aux réserves destinées à l'irrigation des serres. La recherche nécessaire au projet pilote et sa mise en œuvre ont été financées par le gouvernement néerlandais.

La société n'était au départ pas du tout convaincue que ce dispositif naturel aurait des effets aussi positifs, mais elle a décidé au cours du projet pilote de l'appliquer à l'ensemble de ses serres. Fin 2016, 31 marais artificiels étaient opérationnels et traitaient 500 m<sup>3</sup> d'eau par jour, lesquels sont réutilisés dans le cadre des activités, ce qui permet de réduire considérablement l'impact environnemental (l'empreinte sur l'eau) de la société.

Source : Van Dien et Boone (2015).

Contribution de Frank Van Dien (ECOFYT) et Angela Renata Cordeiro Ortigara (WWAP).

### ENCADRÉ 15.2 COLLECTE DÉCENTRALISÉE DES EAUX DE PLUIE DANS LA VILLE DE SUWON (CORÉE)

La ville de Suwon, en Corée, offre un bon exemple de mise en place d'une collecte décentralisée des eaux de pluie, et ce malgré un environnement densément bâti, où il existe déjà un système de canalisations centralisé (voir OCDE, 2015b) pour davantage de détails. Cette ville de 1,1 million d'habitants doit se procurer l'essentiel de son eau à l'extérieur. La municipalité a souscrit au projet « Rain City » en vue d'être moins tributaire de sources d'approvisionnement en eau éloignées. Ce projet consiste à exploiter les eaux pluviales dans la perspective de pénuries à venir. La première phase du projet (2009-2011) mêlait planification (avec notamment des directives concernant l'installation et l'exploitation des systèmes de collecte des eaux usées), éducation et un important soutien financier public. La deuxième phase (2015-2018) prévoit la mise en place d'installations de recyclage des eaux de pluie d'une capacité de 10 000 m<sup>3</sup> et de 150 petits réservoirs d'eaux pluviales pour un budget municipal de 10 milliards de wons sud-coréens (environ 9 millions de dollars américains) (OCDE, 2015b).

Les besoins en oxygène ont été « satisfaits » en déployant beaucoup d'efforts pour favoriser la croissance de la biomasse microbienne (des boues) qui, une fois isolée, était utilisée en agriculture ou rejetée en mer. Les systèmes aérés de grande envergure ont par la suite permis de réduire la quantité finale de biomasse à éliminer, sachant que cela représentait une part importante des coûts de traitement.

Lors de la crise pétrolière des années 1970, la digestion anaérobie est devenue la méthode privilégiée pour le traitement des eaux usées et des boues, du fait de la quantité réduite d'énergie disponible. Durant les années 1980 et 1990, l'élimination des nutriments a suscité un intérêt grandissant, surtout dans les pays développés, du fait de l'eutrophisation des masses d'eau entraînée par les rejets de nutriments dans de nombreux pays à travers le monde. Pendant la même période, des progrès significatifs ont été réalisés en matière d'exploitation de systèmes de traitement plus naturels, comme les bassins de stabilisation des eaux usées et les roselières. Ces types de systèmes permettent de réduire considérablement les pathogènes pour un investissement et des coûts d'exploitation minimales. Leur utilité se confirme en effet, même dans les pays développés, au sein des systèmes de traitement des petites collectivités. Les dernières évolutions ont abouti à des systèmes de traitement qui permettent de limiter les émissions de GES. Parallèlement, de nombreuses recherches ont été menées, en particulier dans les pays en développement, sur des systèmes axés sur la réduction des risques bactériologiques.

Le tableau 4.2 propose davantage de précisions sur les différents types de techniques de traitement.

## 15.7 Extraction d'eaux usées et séparation des composants

L'utilisation directe et active des eaux de pluie, et des nutriments qu'elles contiennent, a souvent été dictée par la nécessité, mais leur usage à des fins récréatives ou autres s'observe également dans de nombreuses régions développées (voir encadré 15.3).

Les nouvelles technologies permettent de transformer les stations de traitement des eaux usées en « usines » dans lesquelles les matières entrantes sont décomposées en composants comme l'ammoniac, le dioxyde de carbone ou les minéraux propres. On procède ensuite à une synthèse microbienne très intensive et efficace dans laquelle l'azote présent est collecté en tant que protéine d'origine microbienne (à des rendements de l'ordre de 100 %) qui peut ensuite être utilisée à des fins de production alimentaire ou d'aliments pour animaux (Matassa et al., 2015).

Une autre nouvelle approche propose un traitement des eaux usées permettant d'en incorporer les matières organiques et non organiques dans la biomasse de poissons. Les poissons sont ensuite capturés et transformés en produits alimentaires destinés aux animaux ou aux humains. L'eau résiduelle peut servir pour l'irrigation ou être déversée. En effet, les matières organiques et non organiques présentes dans les eaux usées entrantes sont en grande partie éliminées lorsque les poissons sont prélevés (Crab et al., 2012).

### ENCADRÉ 15.3 EXTRACTION DES EAUX USÉES À SYDNEY (AUSTRALIE)

La conduite d'égout qui traverse le terrain de golf de Pennant Hills assure l'évacuation des eaux usées d'environ un millier de foyers vers la ville côtière de Manly, où elles bénéficient d'un traitement primaire (très superficiel) avant d'être rejetées dans la mer. Le projet consistait donc à extraire des eaux usées qui non seulement n'étaient pas traitées mais qui contribuaient aussi à la pollution de l'océan. Et pendant les heures de pointe d'utilisation des chasses d'eau et les douches (le matin et le soir), le club de golf ne devait pas perturber le débit et la pression nécessaires pour acheminer le reste des effluents vers Manly. Le dispositif a permis de réduire la consommation d'eau potable du golf de 92 %, ce qui lui a valu une récompense de la part de la compagnie Sydney Water. Cette dernière, du fait de l'utilisation des eaux usées traitées sur place, n'a donc plus besoin de fournir 70 000 m<sup>3</sup> d'eau potable par an au golf.

De plus, l'azote présent dans les eaux d'égout a presque rendu inutile la fertilisation du terrain de golf, puisque de petites quantités d'azote accompagnent chaque arrosage des greens. Les économies en engrais sont toutefois contrebalancées par le besoin d'amender le sol à l'aide de gypse pour compenser l'excès de sodium dans l'eau de récupération.

Dans l'ensemble, ce système s'est révélé être un moyen rentable de se prémunir contre la sécheresse et de réduire les contraintes qui s'exercent en matière d'approvisionnement en eau dans la région de Sydney. Quant aux joueurs de golf, ils sont apparemment ravis.

Source : Extrait de Postel (2012).

La caractéristique essentielle de ces deux concepts de traitement des eaux usées consiste à ne pas se débarrasser de la valeur nutritive présente dans les eaux usées. Au contraire, elles apportent une forme d'énergie renouvelable permettant à des microbes aérobies de transformer les nutriments en cellules microbiennes qui se développent en flocons, la récolte de ces cellules étant assurée par le biais des poissons qui s'en nourrissent. Dans ce cas, la biomasse est ensuite transformée avant de pouvoir servir d'aliment destiné aux animaux ou aux humains.

En ce qui concerne l'isolation et la séparation des composants utiles contenus dans les eaux usées, la collecte et l'exploitation de l'urine sont sans nul doute appelées à prendre une place de plus en plus importante dans le domaine de la gestion écologique de la ressource puisqu'elle contient 88 % de l'azote et 66 % du phosphore des déjections humaines (Maksimović et Tejada-Guibert, 2001 ; Vinnerås, 2001).



# CHAPITRE 16

UNESCO-PHI | Sarantuyaa Zandaryaa et Blanca Jiménez-Cisneros

Avec les contributions de : Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; Pay Drechsel (IWMI) ; Xavier Leflaive (Direction de l'environnement de l'OCDE) ; Takahiro Konami (UNESCO-PHI) ; Richard Connor (WWAP) ; et le Ministère du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme du Japon

## RÉUTILISATION DE L'EAU ET RÉCUPÉRATION DES RESSOURCES

Panneau indiquant l'utilisation d'eaux récupérées



RECLAIMED  
WATER  
USED TO  
FILL THIS  
FOUNTAIN

*Ce chapitre présente un large éventail de possibilités en matière d'utilisation avantageuse et sans risque d'eaux usées traitées ou non, et de récupération de sous-produits utiles comme l'énergie ou les nutriments. Les modèles d'affaires et les approches économiques y sont aussi abordés, au même titre que les réponses possibles en matière de gestion des risques, de réglementation et d'acceptation sociale.*

Face à une demande d'eau en augmentation constante, La réutilisation de l'eau prend de l'ampleur en tant que source d'eau douce alternative, fiable, modifiant ainsi le paradigme de la gestion des eaux usées de « l'élimination » à « la réutilisation et récupération de ressources ». Les pratiques de gestion efficaces, les innovations technologiques et les mesures réglementaires appropriées offrent également des possibilités. Les eaux usées recèlent aussi un important potentiel en matière de valorisation énergétique et de récupération des nutriments et autres matières valorisables.

La réutilisation de l'eau et la récupération des ressources issues des eaux usées sont à présent des domaines dans lesquels la science et les innovations technologiques se développent rapidement, avec des applications prometteuses, non seulement en matière de réutilisation sans risque, mais aussi dans d'autres domaines moins conventionnels, comme la récupération des sous-produits et la mise en valeur des avantages environnementaux et économiques.

La figure 16.1 expose les réutilisations de l'eau après un traitement avancé (tertiaire). Il convient cependant de souligner que, sur l'ensemble des eaux usées produites à l'échelle mondiale, seule une petite partie fait l'objet d'un traitement tertiaire (voir le Prologue).

## 16.1 Valorisation des eaux usées

La réutilisation de l'eau est intéressante et viable sur le plan économique dès lors qu'il existe une possibilité d'amortir les coûts en traitant les eaux usées de façon à atteindre un niveau de qualité acceptable pour l'utilisateur. L'amortissement des coûts que permet la commercialisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation se trouve limité par les importantes subventions pour l'irrigation, surtout dans les pays en développement. Dans le secteur de l'industrie, il est possible d'appliquer une tarification plus élevée aux eaux usées traitées, mais davantage dans une perspective d'amortissement des coûts que pour réaliser des profits (voir section 16.3).

### 16.1.1 Réutilisation de l'eau dans l'agriculture

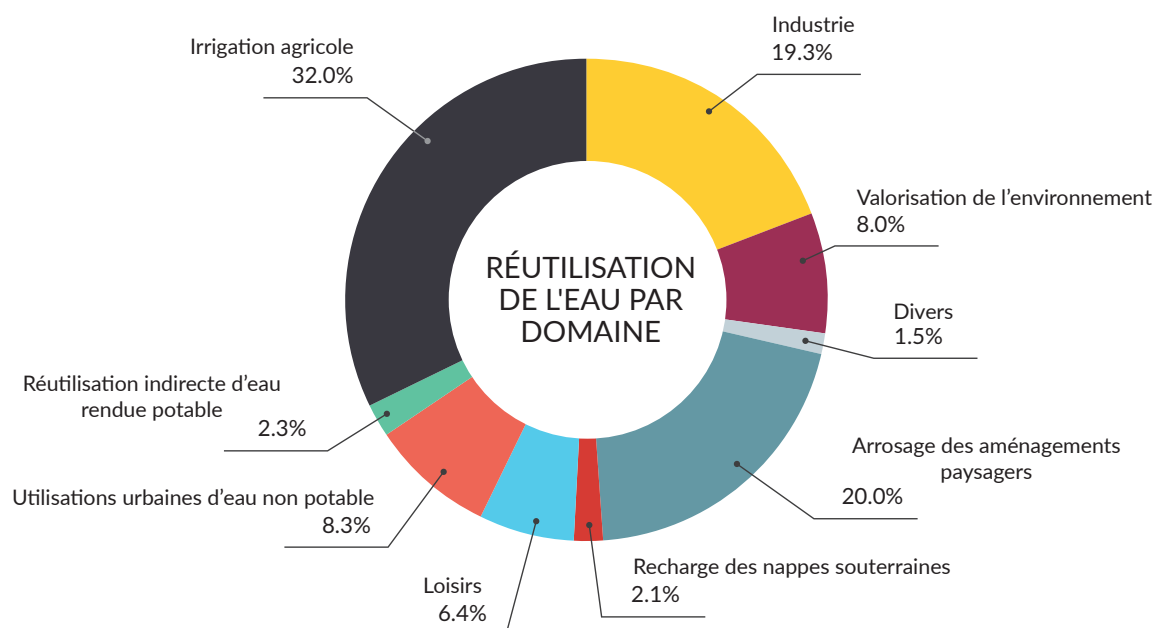
**Irrigation avec des eaux usées.** L'irrigation constitue l'essentiel de l'utilisation des eaux usées traitées, non traitées ou partiellement traitées à travers le monde (voir chapitre 7). En Israël, par exemple, les eaux usées traitées représentaient déjà en 2011 40 % de l'ensemble des volumes utilisés en irrigation (OCDE, 2011b).

Le recours à des eaux usées non traitées ou diluées à des fins d'irrigation a cours depuis des siècles. La principale difficulté en la matière consiste à passer d'une utilisation informelle et non planifiée d'eaux usées partiellement ou non traitées, à une pratique planifiée et sans risque. Il faut pour cela pouvoir s'appuyer sur des vecteurs et des modèles économiques locaux (Otoo et Drechsel, 2015 ; Saldias Zambrana, 2016 ; Scott et al., 2010) ainsi que sur des directives de sécurité telles que celles de l'OMS relatives à la planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement (OMS, 2016b).

**Utilisation des eaux usées en aquaculture.** Le recours intentionnel aux eaux usées en aquaculture (voir section 7.2.1 et encadré 5.3) se fait de plus en plus rare dans le monde, en raison des questions de salubrité et de la perte de surfaces terrestres à proximité des centres urbains, bien que cela se pratique depuis des siècles dans presque toutes les régions du monde, et notamment en Asie. Ses effets sur la production alimentaire sont positifs puisque les bénéfices nutritionnels de l'aquaculture alimentée par des rejets sont significatifs (OMS, 2006a). Le recours aux eaux usées en pisciculture est très répandu en Chine, en Inde, en Indonésie et au Viet Nam. L'aquaculture alimentée par des rejets a aussi lieu au Bangladesh, mais de façon non intentionnelle, lorsque les poissons sont élevés dans des masses d'eau contaminées par des matières fécales. Les déjections humaines sont encore utilisées en aquaculture en Chine, en particulier dans les zones rurales isolées, mais cette pratique se raréfie. Le recours intentionnel aux eaux usées en aquaculture n'est pas habituel en Afrique, mais le poisson destiné à la consommation humaine y est parfois élevé dans des lacs contaminés par des matières fécales. L'utilisation des eaux usées pour la



**Figure 16.1** Réutilisation mondiale de l'eau après un traitement avancé (tertiaire) : Part de marché par domaine d'utilisation



Source : Lautze et al. (2014, fig. 2, p. 5, d'après les données de Global Water Intelligence).

#### ENCADRÉ 16.1 L'EXPÉRIENCE SINGULIÈRE EN MATIÈRE DE RÉUTILISATION DIRECTE D'EAU RENDUE POTABLE À WINDHOEK (NAMIBIE)

Le recours à l'eau de récupération était la seule solution abordable pour permettre à la ville de Windhoek de faire face à la pénurie d'eau due à l'accroissement démographique, à l'augmentation des besoins et à la baisse des précipitations suite à la crise de l'eau de 1957. Cela a conduit à la première mise en œuvre intégrale en matière de réutilisation directe d'eau rendue potable dans la station de recyclage des eaux usées de la ville, ce qui constitue la plus longue expérience au monde dans ce domaine depuis 1969. Pendant les plus de 40 ans d'exploitation, la salubrité a été contrôlée au moyen d'examens épidémiologiques et aucun problème sanitaire n'a jamais été signalé. Le procédé avancé de traitement à barrières multiples permet d'obtenir une eau purifiée d'une qualité toujours conforme à toutes les normes requises en matière d'eau potable. La nouvelle station, construite en 2002, présente d'importantes améliorations technologiques.

La réussite de la station repose sur un certain nombre de facteurs, dont : la vision et la détermination des pionniers du domaine de la récupération d'eau potable ; l'excellence des politiques d'information et des campagnes de sensibilisation en faveur de l'adhésion publique ; l'absence de problèmes sanitaires liés à l'eau ; l'approche multibarrières ; la fiabilité du fonctionnement, des procédés en ligne et du contrôle de la qualité de l'eau ; et le fait qu'il n'existe quasiment aucune autre solution possible (Lahnsteiner et al., 2013).

#### ENCADRÉ 16.2 LE CAS LE PLUS IMPORTANT DE RÉUTILISATION NON PLANIFIÉE D'EAU À DES FINS DE CONSOMMATION PAR L'HOMME (MEXIQUE)

La vallée de Tula, au Mexique, constitue un cas très parlant de réutilisation non planifiée d'eau. Depuis plus de 110 ans, jusqu'à 52 m<sup>3</sup>/s d'eaux usées en provenance de la ville de Mexico sont utilisées pour irriguer cette vallée. Cela s'est traduit par la recharge accidentelle d'un aquifère qui sert à approvisionner en eau quelque 500 000 personnes, entre autres pour leur consommation. Grâce aux processus naturels, cette source d'approvisionnement en eau présente une qualité suffisante. La recharge de l'aquifère a également eu un impact positif sur la situation locale au plan environnemental, social et économique, et a aussi participé au développement de cette région pauvre (Jiménez-Cisneros, 2008).

### ENCADRÉ 16.3 GESTION DÉCENTRALISÉE DE L'EAU ET UTILISATION DES EAUX USÉES : L'EXPÉRIENCE DE SAN FRANCISCO (CALIFORNIE)

La Commission des services publics de San Francisco (SFPUC) a décidé d'adopter des systèmes décentralisés de traitement des eaux usées afin d'assurer des services supplémentaires en matière d'eau et d'eaux usées. En l'absence de réglementation fédérale, la SFPUC a lancé un programme local, le Non-potable Water Program (Programme d'eau non potable), dédié à la réglementation de l'utilisation de l'eau sur place et établissant une procédure simplifiée pour les nouveaux aménagements, visant à collecter, traiter et réutiliser d'autres ressources possibles en eau, notamment les eaux grises et les eaux-vannes, provenant des grands ensembles résidentiels ou commerciaux, de façon à répondre à leurs besoins en matière d'eau non potable. Il comprend des directives à l'attention des promoteurs qui souhaitent équiper leurs bâtiments de systèmes d'eau non potable. Par la suite, la SFPUC a procédé à l'harmonisation des politiques publiques tout en mettant en place un nouveau cadre réglementaire en collaboration avec les services municipaux chargés de l'inspection des bâtiments et de la santé publique.

La Commission a aussi permis l'émergence de micromarchés, dès lors que deux bâtiments ou plus peuvent partager, acheter ou revendre de l'eau sans l'intervention d'un organisme public. Le programme consiste à transférer la responsabilité de l'exploitation, de la maintenance et de l'évaluation de la qualité de l'eau au secteur privé, tandis que le secteur public continue d'exercer un contrôle visant à garantir la protection de la santé publique et du système public d'approvisionnement en eau (OCDE, 2015b).

*Contribution de Xavier Leflaive (Responsable de l'équipe Eau, Direction de l'environnement de l'OCDE).*

production d'aliments pour poissons, comme la lentille d'eau, constitue une solution plus sûre. À Lima, au Pérou, l'élevage de tilapias destinés à la consommation dans des effluents ayant subi un traitement tertiaire s'est révélé créateur d'emplois, tout en contribuant à un usage plus efficace des ressources en eau dans un environnement désertique (PNUE, 2002).

#### 16.1.2 Réutilisation des eaux urbaines

L'eau de récupération (après un traitement « adapté à l'usage prévu ») offre des perspectives en faveur d'un approvisionnement en eau fiable et durable des villes (voir chapitre 5), alors qu'un nombre croissant d'entre elles sont contraintes de chercher de nouvelles sources d'approvisionnement, ou des sources plus éloignées, afin de satisfaire une demande grandissante.

**La réutilisation indirecte d'eau rendue potable** repose sur l'infiltration d'eaux usées traitées dans les eaux de surface et les eaux souterraines, où des processus naturels (filtration, adsorption, exposition aux rayons ultraviolets, sédimentation, dilution, déperissement) poursuivent la décontamination de l'eau (voir encadré 5.2). Après avoir été à nouveau captée, l'eau est traitée comme n'importe quelle autre source d'eau potable. Ce procédé constitue donc une solution viable pour augmenter les ressources en eau potable, pourvu qu'un contrôle rigoureux soit assuré afin de respecter les normes et les lignes directrices relatives à l'eau potable. Le programme NEWater mis en œuvre à Singapour (voir encadré 16.9) est un exemple de réutilisation directe d'eau rendue potable, mais sa difficile acceptation par le public ne permet qu'à une infime partie de l'eau de récupération d'être incorporée aux réservoirs d'eau douce pour une réutilisation indirecte.

**La réutilisation directe d'eau rendue potable** suscite de plus en plus d'intérêt compte tenu des récentes évolutions quant à la disponibilité et au coût des technologies de traitement des eaux usées appropriées (voir section 5.5.1). Le procédé requiert un contrôle des plus rigoureux de la qualité de l'eau afin d'écarter tout risque pour la santé publique et de satisfaire aux critères très stricts en la matière. À Windhoek, en Namibie, où les sources abordables d'approvisionnement en eau font défaut, près de 35 % des eaux usées de la ville sont traitées et mêlées aux autres sources d'eau potable afin d'augmenter les réserves (voir encadré 16.1) (Lazarova et al., 2013).

La réutilisation non planifiée d'eau rendue potable pour l'approvisionnement des zones urbaines a toujours lieu et des eaux non traitées ou insuffisamment traitées sont ainsi rejetées dans les eaux de surface et les eaux souterraines (voir encadré 16.2), ce qui constitue un problème persistant, notamment dans les bassins fluviaux densément peuplés du monde entier.

**Réutilisation d'eau non potable.** La principale raison du développement rapide de la réutilisation des eaux urbaines non potables (voir section 5.5.2) tient au fait qu'il n'est pas toujours nécessaire que la ressource soit conforme à des normes strictes en matière de qualité (et donc qu'elle ait subi un traitement « adapté à l'usage prévu »). Il convient toutefois de tenir compte des risques que présentent le contact direct avec l'eau de récupération et la contamination croisée, en appliquant des mesures de contrôle rigoureuses. Les coûts élevés liés à la construction et à la maintenance des infrastructures permettant de ne pas mélanger

l'eau de récupération et l'eau potable (c'est-à-dire des systèmes de distribution mixte) peuvent constituer une contrainte financière. Ces systèmes, qui peuvent aisément être intégrés aux nouveaux aménagements urbains, sont toutefois de plus en plus répandus en Europe, au Japon et aux États-Unis (voir encadré 16.3) (Asano et al., 1996 ; Grigg et al., 2013 ; OCDE, 2015b).

### 16.1.3 Réutilisation des eaux industrielles

La réutilisation des eaux industrielles (voir chapitre 6) consiste à recycler les eaux usées industrielles à des fins industrielles (en tant qu'eau de fabrication) et non industrielles (irrigation, arrosage, utilisations urbaines non potables, etc.). Le secteur industriel peut aussi avoir recours aux eaux usées municipales traitées. L'eau industrielle recyclée est utilisée depuis longtemps en tant qu'eau de fabrication dans les centrales électriques, l'industrie textile, l'industrie du papier, les raffineries de pétrole, les aciéries, ainsi que dans le secteur du chauffage et de la climatisation. De nouvelles applications voient par ailleurs le jour en matière de réutilisation des eaux industrielles, comme l'utilisation des eaux usées traitées en tant qu'eaux de refroidissement dans les grands centres de données (ceux de Google, implantés en Belgique et en Géorgie, aux États-Unis, par exemple). À terme, les progrès dans le domaine du recyclage de l'eau et dans les techniques de traitement sont en mesure d'aboutir à un circuit d'eau fermé dans le secteur industriel (voir encadré 14.2), tout en permettant de réduire la consommation d'eau de plus de 90 % (Rosenwinkel et al., 2013).

### 16.1.4 Le concept du traitement « adapté à l'usage prévu »

La réutilisation de l'eau « adaptée à l'usage prévu » signifie que le niveau de traitement requis est déterminé par le niveau de qualité de l'eau exigé pour l'usage envisagé. Dans la plupart des cas, comme les utilisations à des fins non potables ne requièrent pas le même niveau de qualité, un traitement secondaire suffit (voir section 5.5). Toutefois, des obstacles s'opposent toujours à un plus large recours à cette approche, notamment l'absence de cadres réglementaires et institutionnels souples et appropriés. D'éventuels risques sanitaires et environnementaux peuvent par ailleurs être évités par le biais de mesures de contrôle de la salubrité, comme le permet l'approche multibarrières (OMS, 2006a) (voir section 16.4).

Le concept de traitement « adapté à l'usage prévu » a été appliqué avec succès dans la station West Basin Municipal Water District d'El Segundo, en Californie (États-Unis) (voir encadré 12.2), qui permet cinq niveaux de traitement différents adaptés à différents usages (Walters et al., 2013).

## ENCADRÉ 16.4 LA RÉCUPÉRATION DU PHOSPHORE EN PLEIN ESSOR

Dans la plupart des cas, la récupération du phosphore contenu dans les eaux usées a lieu par précipitation de la struvite. Les solutions les plus intéressantes sur le plan financier sont celles qui prévoient une récupération en amont, ce qui dispense l'opérateur de procéder à l'extraction coûteuse de la struvite indésirable présente au sein du système de traitement. Cependant, en ce qui concerne la commercialisation du phosphore ainsi récupéré, il n'existe pas pour le moment de solutions financières permettant de rivaliser avec les engrais phosphatés minéraux disponibles sur le marché (Schoumans et al., 2015). La volatilité des prix à court terme, les hausses des prix à long terme et les préoccupations politiques concernant la pénurie de phosphore (eu égard à des questions liées à l'insécurité alimentaire et à la dégradation de l'environnement) pousseront peut-être davantage à privilégier le recyclage du phosphore à l'extraction non durable.

### Stratégies de commercialisation du phosphore récupéré

La société canadienne Ostara, spécialisée dans les partenariats publics-privés avec des stations de traitement des eaux usées, a réussi à tirer parti du phosphore récupéré en transformant les formations indésirables de struvite dans les canalisations en granulés de struvite cristallins baptisés « Crystal Green » qui peuvent être utilisés comme engrais commercial. Les recettes issues des ventes de l'engrais sont partagées avec la municipalité pour amortir le coût des installations.

La société ASH DEC Umwelt AG, basée en Autriche, a mis au point un procédé d'incinération des boues permettant d'éliminer totalement les agents pathogènes et les polluants organiques qui, complété par un traitement chimique et thermique, aboutit à la production d'un engrais composé à base de cendres, commercialisé sous la marque PhosKraft®. Compte tenu des coûts d'élimination restreints, le prix de production est comparable à celui des engrais commerciaux. La période d'amortissement d'une station complète a été estimée à 3 ou 4 ans (Drechsel et al., 2015a).

*Contribution de Pay Drechsel (IWMI) ; Angela Renata Cordeiro Ortigara (WWAP) ; et Dirk-Jan Kok et Saket Pande (TU Delft).*

### 16.1.5 Utilisation des eaux usées présentant des avantages sur le plan environnemental – Reconstitution des ressources en eau

On compte parmi les utilisations courantes des eaux usées présentant des avantages sur le plan environnemental la reconstitution des ressources en eau au moyen de la recharge des nappes souterraines, le rétablissement du débit des cours d'eau, la hausse des niveaux des lacs et des étangs ainsi que la restauration des zones humides et de la biodiversité (voir chapitre 8).

**Recharge des aquifères.** La recharge artificielle des aquifères par l'apport délibéré d'eaux usées traitées en vue de reconstituer les réserves ou d'enrichir les

### ENCADRÉ 16.5 RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE ET DE BIOCARBURANTS À PARTIR DE BIOSOLIDES : L'APPROCHE GLOBALE (LÉGISLATIVE ET FINANCIÈRE) DU JAPON

Au Japon, bien que plus de la moitié des biosolides soient récupérés, seulement 15 % de leur bioénergie est utilisée. Le Gouvernement japonais s'est donné pour objectif de faire passer ce taux à 30 % d'ici 2020, au moyen de mesures législatives, d'aides financières, d'encouragements à l'innovation, de réductions fiscales et de la normalisation des sous-produits des biosolides.

La nouvelle loi sur l'assainissement de 2015 impose aux opérateurs d'assainissement d'avoir recours aux biosolides en tant que source d'énergie neutre en carbone. Les 2,3 millions de tonnes de biosolides produits dans le pays chaque année par les 2 200 stations de traitement des eaux usées en activité peuvent permettre de générer 160 GWh d'électricité par an. En 2016, 91 stations ont récupéré du biogaz pour l'électricité tandis que 13 autres ont produit des combustibles solides. La ville d'Osaka offre un bon exemple avec 6 500 tonnes de combustible dérivé de biosolides produites par an à partir de 43 000 tonnes de boues d'épuration humides, pour la production d'électricité et de ciment. En guise d'aide financière en faveur des opérateurs d'assainissement qui investissent dans la réutilisation d'énergie à partir des biosolides, une tarification préférentielle est appliquée à l'électricité produite à l'aide de biosolides sur la base d'un prix fixe au kWh.

Le Gouvernement du Japon encourage l'innovation en accordant des subventions en faveur des technologies de pointe en matière de réutilisation des biosolides. Les financements privés sont aussi encouragés par le biais d'une mesure spéciale d'amortissement visant à alléger la fiscalité qui pèse sur les entreprises privées qui investissent dans l'équipement nécessaire à la réutilisation d'énergie, utilisé dans les stations de traitement des eaux usées. Les sous-produits tels que le combustible dérivé de biosolides sont en cours de normalisation afin de mettre en place un marché pour ces produits.

Source : Ministère japonais du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme\*

Contribution de Takahiro Konami (UNESCO-PHI).

\*Pour plus de détails, voir [www.mlit.go.jp/en/index.html](http://www.mlit.go.jp/en/index.html)

écosystèmes est une pratique courante. Les principales restrictions en la matière sont liées à la contenance de l'aquifère et au taux de recharge. La recharge des aquifères présente de multiples avantages, comme l'augmentation de l'approvisionnement et des réserves en eau, l'entretien des zones humides et la prévention de l'intrusion d'eau salée.

L'installation de Torreele (Belgique) produit de l'eau d'infiltration de qualité supérieure pour des utilisations indirectes d'eau rendue potable par le biais de la recharge des eaux souterraines des aquifères dunaires de St André, tout en présentant des avantages sur le plan environnemental comme la prévention de l'intrusion d'eau salée, une gestion durable des eaux souterraines et la promotion des valeurs naturelles (van Houtte et Verbauwheide, 2013). La recharge non intentionnelle des aquifères avec des eaux non traitées ou insuffisamment traitées a encore lieu dans de nombreuses régions. Il faut y accorder une attention particulière, car cela peut présenter des risques pour la santé humaine et l'environnement.

## 16.2 Récupération des ressources issues des eaux usées et des biosolides

### 16.2.1 Récupération des nutriments

La récupération de l'azote (N) et du phosphore (P) à partir des eaux d'égout ou des boues d'épuration exige des technologies de pointe, qui sont toujours en phase de développement même si d'importants progrès ont été accomplis en la matière ces dernières années (voir section 15.7). De plus en plus de municipalités (au Bangladesh, au Ghana, en Inde, en Afrique du Sud, au Sri Lanka, etc.) procèdent à l'assèchement des boues, au co-compostage sans risque et à la pelletisation (Nikiema et al., 2014). La récupération du phosphore issu des installations de traitement sur place, telles que les fosses septiques et les latrines, est envisageable sur le plan technique et financier en procédant à la transformation des boues en engrais organique ou organo-minéral. De plus, les boues fécales présentent un risque de contamination chimique plutôt réduit par rapport aux biosolides d'égouts.

### ENCADRÉ 16.6 EXEMPLES DE BÂTIMENTS CHAUFFÉS ET CLIMATISÉS À L'AIDE D'EAUX USÉES

**Le village des Jeux olympiques d'hiver de Vancouver (Canada).** L'ancien village des Jeux olympiques d'hiver de 2010, depuis converti en immeubles d'habitation, est chauffé à l'aide d'effluents issus de la station de traitement des eaux usées d'un village voisin (Godfrey et al., 2009).

**La Wintower, le gratte-ciel de Winterthur, en Suisse.** Les eaux usées assurent le chauffage des 28 étages de la Wintower en hiver et permettent de climatiser la tour en été. Environ 600 kW d'énergie thermique sont tirés des eaux usées issues des égouts. Ces eaux usées servent aussi pour climatiser le bâtiment en été, en absorbant son énergie. Ce procédé montre comment il est possible d'utiliser les eaux usées en tant que source d'énergie neutre en carbone pour le chauffage et la climatisation des bâtiments en toute saison (HUBER, s.d.).





**La récupération d'énergie offre un potentiel commercial considérable en termes de réduction de la consommation d'énergie, des coûts d'exploitation et de l'empreinte carbone**

On prévoit une raréfaction ou un épuisement des ressources minérales en phosphore extractibles dans les 50 à 100 années à venir (Steen, 1998 ; van Vuuren et al., 2010). La récupération du phosphore à partir des eaux usées apparaît donc de plus en plus comme étant une solution de rechange viable (voir encadré 16.4). On estime que 22 % des besoins mondiaux en phosphore pourraient être satisfaits en recyclant l'urine et les fèces humaines (Mihelcic et al., 2011).

En dépit des avancées notables en matière de récupération de nutriments à partir des boues et des eaux usées, les débouchés commerciaux restent peu nombreux, essentiellement en raison de marchés insuffisants. La faible teneur en matières nutritives des biosolides, notamment en azote, ne permet pas de réaliser des profits sur le marché. Seulement 5 à 15 % de l'azote contenu dans les eaux usées peut être récupéré, comparé à 45-90 % du phosphore (Drechsel et al., 2015a). Par conséquent, le processus sera probablement axé sur les différentes solutions technologiques permettant de récupérer le phosphore à partir de la précipitation de la struvite, des boues et de l'incinération, avec des coûts et des niveaux d'efficacité variés.

### **16.2.2 Récupération d'énergie**

Les eaux usées jouent un rôle majeur dans le rapport entre eau et énergie. Si leur collecte et leur traitement impliquent une importante consommation d'énergie, les eaux usées elles-mêmes sont une source d'énergie dont l'immense potentiel est sous-exploité (WWAP, 2014). Il est possible de récupérer l'énergie chimique, thermique et hydraulique des eaux usées sous la forme de biogaz, de chauffage/climatisation et de production d'électricité par le biais de processus internes et externes (Meda et al., 2012). Des technologies existent pour la récupération d'énergie sur place au moyen de procédés de traitement des boues/biosolides intégrés aux stations de traitement des eaux usées. La récupération d'énergie hors site consiste en l'incinération des boues dans des stations centralisées par le biais de procédés de traitement thermiques. On compte notamment

#### **ENCADRÉ 16.7 ENSEMBLE DES POSSIBILITÉS DE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE À PARTIR DES BOUES D'ÉPURATION, COMPRENANT LA DIGESTION ANAÉROBIE ET LA CONVERSION THERMIQUE, À ZURICH (SUISSE)**

La dernière usine de l'entreprise Outotec, qui a recours aux boues d'épuration de Zurich, offre un bon exemple en matière de récupération d'énergie complète accompagnée d'une conversion énergétique et d'une récupération de nutriments efficaces, tout en établissant de nouvelles normes internationales dans le domaine de la conversion énergétique. Il est possible d'obtenir une conversion énergétique satisfaisante à l'aide de la digestion anaérobie, pour la production de biogaz et/ou d'électricité, ainsi qu'à l'aide de la combustion, pour la production de vapeur et de chaleur. Chacun de ces procédés permet d'exploiter près de 50 % du potentiel énergétique des boues d'épuration, ce qui donne un rendement global de 6 MWh par tonne de boues sèches. Il existe différentes possibilités d'utilisation, comme raffiner le biogaz pour obtenir une qualité « gazoduc » et l'incorporer au réseau, ou encore convertir la vapeur en électricité et en chaleur pour les besoins de la station de traitement des eaux usées. La ville de Zurich a adopté ce modèle en 2015. La récupération du phosphore est une obligation légale en Suisse depuis janvier 2016. Le Service des eaux municipal assurera la récupération du phosphore dès que la technologie la plus appropriée aura été choisie.

Source : Outotec GmbH & Co (s.d.).

Contribution de Ludwig Hermann (Outotec GmbH & Co).

parmi les technologies les plus récentes les piles à combustible microbiennes, qui permettent de produire de la bioélectricité à partir des boues et à l'aide des bactéries, de la granulation aérobie des boues, de l'oxydation anaérobie de l'ammonium (« Anammox ») et de la manipulation de la biomasse. Il existe aussi des possibilités en matière d'énergie combinée et de récupération des nutriments. Bien que ces technologies existent, leur généralisation est entravée par des débouchés commerciaux limités et d'autres obstacles liés aux économies d'échelle.

La récupération d'énergie offre un potentiel commercial considérable en termes de réduction de la consommation d'énergie, des coûts d'exploitation et de l'empreinte carbone. Réduire l'empreinte carbone des stations de traitement peut assurer une augmentation des ressources financières grâce aux programmes de crédits carbone et d'échanges de droits d'émission de carbone (Drechsel et al., 2015a).

Production de biogaz. La production de biogaz à partir de l'énergie chimique contenue dans les substances organiques des eaux usées, au moyen de la digestion anaérobie des biosolides, pour la production d'électricité et de chaleur constitue la principale application en matière de récupération d'énergie sur place. Il est possible de répondre à une bonne partie des besoins en énergie et en chaleur des stations de traitement des eaux usées à l'aide de l'énergie récupérée à partir des biosolides (voir encadré 16.5).

Récupération de chaleur. Il est possible d'extraire l'énergie thermique contenue dans les eaux usées pour le chauffage ou la climatisation de locaux. Il existe plusieurs applications possibles en matière d'utilisation des eaux usées pour le chauffage ou la climatisation des bâtiments à usage commercial ou résidentiel, les espaces publics et les installations industrielles (voir encadré 16.6).

Énergie hydraulique. Il est possible de produire de l'électricité en installant des turbines dans les flux d'eaux usées, mais ce procédé est limité en raison du fait que la plupart des stations de traitement des eaux usées sont implantées dans des endroits peu élevés. La station de traitement de As-Samra, en Jordanie (voir section 10.3.4), est connue pour tirer parti de son dénivelé par rapport à la ville, mais aussi entre ses propres points d'entrée et de sortie, au moyen de deux turbines installées en amont et en aval de la station. Environ 80 à 95 % des besoins en énergie de la station sont satisfaits à l'aide de ces deux turbines (1,7 et 2,5 MW, respectivement) et du biogaz produit à partir des boues (9,5 MW) (Otoo et Drechsel, 2015).

Vers la neutralité énergétique et les producteurs nets d'énergie. L'optimisation de la consommation d'énergie que permettent les procédés de traitement des eaux usées et la récupération d'énergie à partir des eaux usées et des biosolides offrent l'occasion aux installations de traitement des eaux usées de passer d'une importante consommation d'énergie à la neutralité énergétique, voire de devenir des producteurs nets d'énergie (voir encadré 16.7).

### 16.2.3 Récupération de sous-produits à forte valeur ajoutée

Les métaux et autres composés inorganiques présents dans les eaux usées, surtout dans les effluents industriels, offrent non seulement des possibilités de récupérer des sous-produits à forte valeur ajoutée, mais aussi de réduire les problèmes de santé et la pollution environnementale qu'entraînent leurs rejets. Les effluents issus des industries extractives et électriques peuvent contenir des traces de métaux lourds (or, argent, nickel, palladium, platine, cadmium, cuivre, zinc, molybdène, bore, fer et magnésium, entre autres). Différents procédés d'extraction électrochimique, qui consomment en général

## ENCADRÉ 16.8 LES EAUX USÉES, UNE SOURCE D'HYDROCARBURES À FORTE VALEUR AJOUTÉE GRÂCE AUX MICROALGUES

- **Des eaux usées au carburant liquide pour les transports.** L'idée de produire des biocarburants pour les transports repose sur la conversion des nutriments contenus dans les eaux usées en biomasse de microalgues (c'est-à-dire en microalgues qui se développent dans les eaux usées), laquelle est à son tour convertie en biocarburant. Cette approche présente de nombreux avantages et on peut y avoir recours pour épurer les eaux usées, capturer le dioxyde de carbone, ou produire une énergie alternative et durable sans entrer en concurrence avec le secteur agricole pour ce qui est de l'eau, des engrais et des terres. Aux États-Unis, les responsables du projet OMEGA (Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae) mené par la NASA procèdent à des études de faisabilité concernant la production de carburant d'aviation au moyen de la culture de microalgues dans des réservoirs flottants au large des côtes qui sont « alimentés » par les eaux usées des villes (Trent, 2012).
- **Une bio-huile issue des algues des eaux usées.** En Nouvelle-Zélande, l'Institut NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) a prouvé qu'il était rentable sur le plan commercial de produire de la bio-huile à partir de microalgues cultivées à l'aide d'eaux usées, dans l'installation de traitement de Christchurch (Craggs et al., 2013). Du dioxyde de carbone est ajouté dans des « bassins d'algues à forte charge » afin de favoriser une conversion de la biomasse algale en bio-huile efficace sur le plan énergétique.\*
- **Production de bioplastique biodégradable.** Le bioplastique biodégradable produit à l'aide de microalgues élevées dans les eaux usées est en mesure de remplacer le plastique traditionnel à base de pétrole à des coûts moins élevés. Une fois rendu viable sur le plan économique, ce procédé pourrait révolutionner le domaine des polymères, en offrant de nouveaux débouchés en matière de produits biologiques et durables, tout en entraînant des bénéfices supplémentaires comme le piégeage du carbone, la réduction de l'empreinte écologique et de la dépendance à l'égard du pétrole, ainsi que de meilleures solutions concernant les fins de cycle de vie.\*\*
- **Production d'ingrédients cosmétiques à partir d'eaux usées à l'aide de microalgues.** Depuis juillet 2015, le Centre de recherche et développement « Algae Biomass Energy System » de l'université de Tsukuba, au Japon, mène des recherches sur la biomasse algale et les applications industrielles permettant de synthétiser les huiles d'origine algale en vue de mettre sur pied une « industrie algale » associant production de biocarburant, traitement des eaux usées et huiles d'origine algale destinées aux produits cosmétiques et médicaux.

\* Pour plus de détails, voir [www.niwa.co.nz/freshwater-and-estuaries/research-projects/bio-oil-from-wastewater-algae](http://www.niwa.co.nz/freshwater-and-estuaries/research-projects/bio-oil-from-wastewater-algae)

\*\* Pour plus de détails, voir <http://algix.com/sustainability/our-solution/>

beaucoup d'énergie et de produits chimiques, ont été examinés en vue de leur récupération. Cependant, ces applications sont limitées à certaines grandes industries. Les dernières évolutions dans le domaine des technologies bioélectrochimiques ouvrent peut-être une nouvelle voie en matière de récupération efficace des métaux lourds (Wang et Ren, 2014).

On envisage aussi d'avoir recours aux microalgues, sans danger pour l'environnement, pour obtenir des sous-produits à forte valeur ajoutée comme les biocarburants pour le transport, le bioplastique, les produits biochimiques, les compléments alimentaires pour les êtres humains et les animaux, les antioxydants et les produits cosmétiques, à partir des ressources contenues dans les eaux usées (voir encadré 16.8).

### 16.3 Modèles d'activité et approches économiques

L'utilisation des eaux usées offre une double proposition de valeur si, en plus des avantages du traitement des eaux usées sur les plans environnemental et sanitaire, des retombées financières sont aussi envisageables. L'importance des revenus dépend du type de ressources qui peuvent être récupérées à partir des eaux usées. L'utilisation des eaux usées elle-même est d'autant plus compétitive lorsque les prix de l'eau douce tiennent aussi compte du coût de renonciation lié à l'utilisation d'eau douce et que les redevances de pollution reflètent les coûts liés à la décontamination des eaux usées, mais aussi les préjudices économiques éventuels en cas d'inaction.

Le secteur du traitement des eaux usées a jusqu'à présent essentiellement suivi un modèle de type social, dont la principale justification économique était axée sur la sauvegarde de la santé publique et de l'environnement. Il existe pourtant tout un éventail de possibilités pour passer d'un « modèle de revenus » à un « modèle d'affaires » (Drechsel et al., 2015a) dans lequel le recouvrement des coûts et des valeurs offre un avantage certain du point de vue financier, non seulement pour l'implication du secteur privé, mais aussi du secteur public.

**Les transferts d'eau intersectoriels** (ou « échanges d'eau ») ont pour objectif de mettre à disposition des cultivateurs des eaux usées pour l'irrigation, par exemple, en échange d'eau douce pour des usages domestiques et industriels (Winpenny et al., 2010). Ce modèle économique permet aussi de procéder à des échanges d'eau avec d'autres gros consommateurs d'eau comme les terrains de golf. Ce procédé ne permet pas d'accroître la disponibilité globale en eau, mais permet d'affecter davantage d'eau douce à des usages à forte valeur ajoutée.

**La reconstitution du capital naturel** repose sur le partage des bénéfices : l'organisme chargé de l'eau potable verse un certain montant à la société chargée d'une partie du traitement et du stockage à moyen terme, le plus souvent au moyen de la recharge des eaux souterraines. Ce modèle économique est à l'avantage de l'organisme de l'eau potable lorsque les bénéfices potentiels sont intéressants par rapport à d'autres sources d'approvisionnement en eau douce. Le recouvrement des coûts d'exploitation sera fonction du prix courant de l'eau douce/potable. Les parties prenantes privées implantées à proximité du lieu de recharge des zones souterraines peuvent aussi en profiter en ayant accès à des volumes plus importants (et ils peuvent aussi vendre cette eau à des camions-citernes privés) (Rao et al., 2015).

**La création de valeur sur site** repose sur l'aquaculture à l'aide d'eaux usées. Lorsque la production piscicole a lieu dans le cadre d'un processus de traitement en bassin, il est possible d'intégrer la proposition de valeur liée à la réutilisation par le biais de l'absorption des nutriments issus des eaux usées par la biomasse (les lenticules, par exemple), laquelle sert à son tour à nourrir les poissons. Ce modèle d'affaires assure à la fois une solution de traitement à faible coût et des revenus qui peuvent être significatifs, ce qui permet de dépasser le simple amortissement des coûts (Rao et al., 2015).

**La commercialisation de l'eau de récupération** est sans aucun doute le modèle économique le plus évident et consiste à mettre à la disposition de l'utilisateur des ressources en eaux usées partiellement traitées (« selon l'usage prévu ») à un coût inférieur à celui des eaux traitées. Bien que les prix peu élevés de l'eau douce permettent en général difficilement d'appliquer une tarification appropriée à l'eau de récupération, et donc d'assurer un recouvrement intégral des coûts, on compte toutefois un certain nombre de cas concluants en la matière (Lazarova et al., 2013).

**La couverture des futurs marchés de l'eau** repose sur l'hypothèse selon laquelle la demande en eau de récupération de la part des secteurs industriel et agricole est appelée à augmenter à l'avenir. L'idée consiste à mettre en correspondance les futurs « acheteurs » d'eau et les fournisseurs du secteur des eaux usées traitées par le biais de la négociation de droits de l'eau, ce qui permet d'assurer à l'avance une partie des capitaux d'investissement en faveur des projets de traitement des eaux usées (Rao et al., 2015).

Des exemples de réutilisation de l'eau présentant un potentiel économique sont présentés dans le tableau 16.1.

Les possibilités d'amortissement des coûts liés à l'utilisation des eaux usées augmentent en fonction du niveau de traitement, ce qui se traduit par

**Tableau 16.1 Exemples de réutilisation de l'eau présentant un potentiel économique**

| Modèle d'activité                                                         | Implantation                     | Concept d'activité, produits/ services et bénéficiaires                                                                                                                                                                                                           | Type de traitement                                                                   | Opportunités et justification                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Échanges d'eau                                                            | Mashhad (Iran)                   | Accord entre la compagnie d'eau régionale et une association d'agriculteurs concernant des échanges d'eau. Cession des droits d'utilisation de l'eau des agriculteurs (retenues d'eau et eaux souterraines) en échange de volumes d'eaux usées traitées.          | Traitement secondaire                                                                | Manque d'eau et besoin de réduire la pression exercée sur les ressources en eau douce                                              |
| Reconstitution du capital naturel                                         | Lac Hoskote, Bangalore (Inde)    | Le service public de la petite irrigation détourne les eaux usées non traitées d'une partie de la ville vers une autre. La recharge d'un lac asséché et de puits d'eau souterraine profite aux petits cultivateurs et aux foyers situés dans la zone de recharge. | Aucun traitement en dehors des processus naturels                                    | Nécessité de restaurer le lac et de réalimenter la nappe phréatique appauvrie et les puits asséchés.                               |
| Création de valeur sur place axée sur l'aquaculture à l'aide d'eaux usées | Mirzapur (Bangladesh)            | Partenariat entre l'hôpital et une ONG pour le traitement des eaux usées en vue de produire des lenticules en tant qu'aliments pour poissons et de cultiver des produits à destination des marchés locaux.                                                        | Traitement tertiaire comprenant l'élimination des nutriments au moyen des lenticules | Partenariat entre le centre hospitalier et le promoteur technique et forte demande en poisson dans la région                       |
| Commercialisation de l'eau de récupération                                | Gaborone (Botswana)              | Traitement des eaux usées de Gaborone et réutilisation pour l'irrigation des exploitations agricoles de Gen Valley et l'augmentation du débit des rivières.                                                                                                       | Traitement secondaire                                                                | Sécheresses fréquentes et manque d'eau chroniques                                                                                  |
| Couverture des futurs marchés de l'eau                                    | Prana Sustainable Water (Suisse) | Traitement des eaux usées préfinancé par les futures ventes d'eau par le biais d'accords contractuels visant à protéger les fonds du secteur.                                                                                                                     | Traitement secondaire ou tertiaire                                                   | Gestion des connaissances sur les marchés de l'eau, le commerce de l'eau et le prix des matières premières et partenariats solides |

Source : Adapté de Drechsel et al. (2015a, Tableau 11.2, pp. 202–203).

des améliorations de la qualité de l'eau ou par la possibilité de récupérer davantage de ressources et de matières. Le fait de récupérer plusieurs produits à partir des eaux usées offre de nouvelles perspectives, permet de générer des revenus supplémentaires et de faire progresser l'entreprise dans le classement des propositions de valeur (voir figure 16.2).

À l'heure actuelle, les possibilités en matière de récupération de nutriments et d'énergie comptent parmi les plus perfectionnées en termes de faisabilité financière et technique, comme le montrent les différents exemples mentionnés dans la précédente section (16.2). Les possibilités d'améliorer ces procédés sont cependant de plus en plus nombreuses (voir chapitre 17) et l'ensemble de ces avancées devrait offrir de nouvelles perspectives d'amortissement des coûts dans le domaine de la gestion et de la réutilisation des eaux usées.

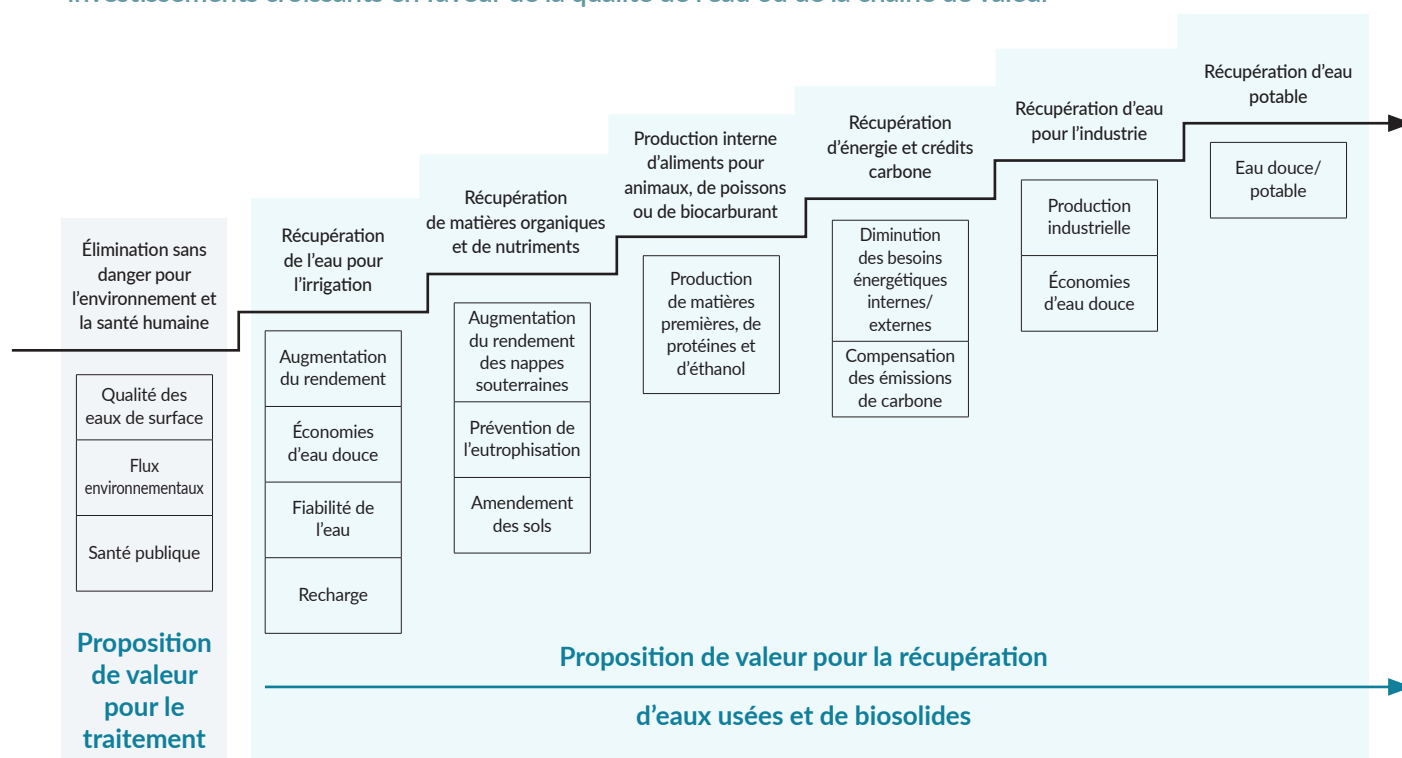
## 16.4 Réduire au minimum les risques pour la santé humaine et l'environnement

En raison des risques potentiels pour la santé humaine, la réutilisation de l'eau pour la consommation humaine (c'est-à-dire en tant qu'eau potable) exige une approche des plus rigoureuses et notamment des réglementations strictes et des programmes de contrôle, d'évaluation et de conformité fiables.

Il convient de porter une attention toute particulière à l'exposition de groupes vulnérables à des eaux usées non traitées ou partiellement traitées, surtout dans le cadre de l'irrigation des terres agricoles (voir section 7.2.2). On compte parmi ces groupes vulnérables les agriculteurs, les ouvriers agricoles et les communautés avoisinantes qui se trouvent



**Figure 16.2** Classement progressif des propositions de valeur en matière de réutilisation avec des investissements croissants en faveur de la qualité de l'eau ou de la chaîne de valeur



Source : Drechsel et al. (2015a, fig. 1.2, p. 8).

en contact direct avec les eaux usées, ainsi que les consommateurs, du fait des produits cultivés à l'aide d'eaux usées. La mauvaise connaissance des risques liés à l'utilisation des eaux usées, due à la pauvreté et au manque d'éducation, renforce encore davantage ces risques, tout spécialement dans les pays en développement. Les femmes y sont particulièrement exposées (Moriarty et al., 2004).

Un traitement des eaux usées approprié associé à l'application des normes de qualité de l'eau dans le

domaine de l'irrigation des terres agricoles devrait suffire pour assurer la protection de la santé publique. Il convient cependant, dans la plupart des pays à faible revenu dans lesquels les eaux usées ne sont le plus souvent pas ou presque pas traitées, d'adopter de nouvelles approches afin de prévenir la contamination des chaînes de production alimentaire par des agents pathogènes. Il est recommandé dans les Directives de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (OMS, 2006a) d'appliquer une approche multibarrières pour assurer la protection de la santé publique lorsqu'aucune modalité de traitement n'est prévue (voir encadré 7.1).

Les effets potentiels à long terme des polluants émergents sur la santé humaine et les écosystèmes (voir section 4.1) imputables à l'utilisation des eaux usées ne sont pas encore connus (UNESCO, 2016b). Il est nécessaire de mener davantage de recherches concernant les risques que représentent pour la santé humaine et l'environnement les substances chimiques et les polluants émergents contenus dans les eaux usées (voir section 17.2).

Les risques pour la santé de l'environnement constituent un aspect important de l'utilisation des eaux usées (voir section 6.2.2). Cette question est pourtant bien souvent mise de côté. Il convient de mettre en place des programmes de surveillance de

**La réutilisation de l'eau est intéressante et viable sur le plan économique dès lors qu'il existe une possibilité d'amortir les coûts en traitant les eaux usées de façon à atteindre un niveau de qualité acceptable pour l'utilisateur**

l'environnement, non seulement en vue d'évaluer les risques, mais aussi pour mettre au point des politiques de protection de l'environnement appropriées.

## 16.5 Réglementation relative à la réutilisation de l'eau

Les premières réglementations relatives aux eaux usées étaient fondées sur des mesures de traitement, tandis que les dispositions plus récentes sont axées sur les normes spécifiques en matière de qualité de l'eau et sur les critères liés aux différents types d'usage, dans l'objectif de préserver la santé humaine et la santé de l'environnement. Néanmoins, les coûts des traitements avancés des eaux usées qui permettent de respecter les normes strictes de qualité de l'eau demeurent hors de portée pour bon nombre de pays

### ENCADRÉ 16.9 LE PROGRAMME NEWATER DE SINGAPOUR : UNE VASTE CAMPAGNE D'ÉDUCATION ET DE SENSIBILISATION

L'Agence nationale de l'eau de Singapour, la PUB\*, a adopté une approche très complète associant une campagne de sensibilisation du public, « ABC Waters », un programme d'éducation « les 3 P » (Population-Public-Privé), et le Centre des visiteurs NEWater. Le programme d'éducation a rassemblé responsables locaux, journalistes et représentants d'entreprises et des médias. Le Centre des visiteurs NEWater a été créé pour mettre à disposition du public des programmes d'éducation et assurer la diffusion de l'information. Il a attiré plus de 800 000 visiteurs nationaux et étrangers. Dans le but d'atténuer la perception négative du public ainsi que les craintes psychologiques et les préjugés, la PUB a adapté les termes et les concepts techniques en langage simple : les termes « eaux résiduaires et eaux d'égout » ont par exemple été remplacés par « eaux usées » et « station d'épuration » par « station de récupération de l'eau ». Les informations ont aussi été illustrées sous forme de graphiques simplifiés et présentées de façon ludique en faveur de la sensibilisation du public grâce à l'application mobile « Save My Water ». L'acceptation sociale du recours aux eaux usées a progressé grâce à ces actions éducatives en faveur de la sensibilisation et de la vulgarisation.

\*Pour en savoir plus, consulter [www.pub.gov.sg/](http://www.pub.gov.sg/)

Source : PUB.

À l'heure actuelle, les possibilités en matière de récupération de nutriments et d'énergie comptent parmi les plus perfectionnées en termes de faisabilité financière et technique

en développement. L'approche multibarrières (voir encadré 7.1) permet de remédier à ce problème puisqu'elle repose sur l'évaluation et la gestion des risques.

Les directives relatives à l'utilisation des eaux usées doivent être possibles à mettre en œuvre, que ce soit en termes techniques ou économiques, applicables par le biais de politiques et de programmes appropriés, et adaptées aux situations locales particulières, en tenant compte des critères économiques, socioculturels et environnementaux. Les mesures de protection de la santé humaine et environnementale doivent être conçues de telle façon qu'elles correspondent à l'équilibre local entre capacités financières et risques.

Plusieurs directives sur l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation ont été élaborées au plan national et international. On trouve parmi les critères les plus importants des paramètres liés aux risques pour la santé, et notamment des normes microbiologiques relatives à l'utilisation des eaux usées telles que l'absence de bactéries indicatrices de matières fécales, ainsi que des paramètres physico-chimiques relatifs aux eaux usées traitées permettant d'évaluer la présence de matières en suspension, de nutriments et de métaux lourds. Les directives comprennent aussi parfois des restrictions concernant les pratiques d'irrigation selon l'origine et l'utilisation finale des eaux usées, telles que des restrictions portant sur les cultures, les techniques d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine.

Les pays développés établissent des normes techniques en ce qui concerne les micro-organismes et les produits chimiques. Ces seuils stricts exigent d'importants efforts en matière de suivi et de mise en œuvre. En revanche, dans les pays en développement, la réglementation est axée sur les restrictions d'utilisation, comme celles qui consistent à restreindre l'irrigation par des eaux usées pour les cultures maraîchères destinées à la consommation humaine, ou qui imposent un délai minimum entre l'irrigation des cultures et leur récolte. Le suivi de ce type de restrictions nécessite obligatoirement des organismes



## Plusieurs directives sur l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation ont été élaborées au plan national et international

de contrôle efficaces. Par conséquent, certains pays comme le Mexique et la Tunisie ont adopté des directives basées sur des restrictions d'utilisation associées à des seuils facilement vérifiables.

On compte parmi les directives appliquées au plan international en matière d'utilisation des eaux usées les Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture (OMS, 2006a). Les directives sur la qualité des eaux usées utilisées en agriculture élaborées par la FAO (1985 ; 1992) mettent l'accent sur l'évaluation de la compatibilité de l'eau pour l'irrigation et la mise au point d'éventuelles restrictions d'usage. Les politiques et les mesures réglementaires efficaces concernant l'utilisation des eaux usées et la récupération des ressources font largement défaut au niveau national et ne sont appliquées que dans un petit nombre de pays, dont Israël, la Jordanie, le Mexique, la Tunisie et la Turquie, où l'irrigation avec des eaux usées est une pratique bien établie.

### 16.6 Acceptation sociale de l'utilisation des eaux usées

L'utilisation des eaux usées peut se heurter à une vive opposition de la population en raison du manque d'informations et de confiance concernant les risques pour la santé humaine. À cela s'ajoutent notamment les différences de perceptions religieuses et culturelles concernant l'eau en général ou le recours aux eaux usées. Si les préoccupations en matière de santé et de sécurité publiques ont toujours été les principales raisons des réticences de la population vis-à-vis de l'emploi des eaux usées, les aspects culturels (voir encadré 16.10) et les comportements des consommateurs semblent aujourd'hui être devenus les facteurs prépondérants dans la majorité des cas, même lorsque l'eau a subi un traitement avancé et qu'elle ne présente aucun risque. L'aspect esthétique de l'eau de récupération, à savoir sa couleur, son odeur ou son goût, joue aussi un rôle décisif en matière d'acceptation par le public.

La sensibilisation et l'éducation sont les piliers permettant de surmonter les réticences sociales et culturelles du grand public, et de contribuer de façon significative à instaurer la confiance des consommateurs et à faire évoluer la perception du public de l'utilisation des eaux usées. Il convient que les campagnes de sensibilisation en question soient adaptées à des consommateurs de cultures et de religions différentes. Pour être efficaces, les programmes d'éducation et de sensibilisation doivent aussi cibler tous les groupes d'âge. Il faut par ailleurs qu'ils soient adaptés aux spécificités et aux besoins locaux. Un autre aspect important concerne la désignation des produits et la diffusion de l'information puisque cela contribue à donner une image positive de l'eau de récupération et des ressources qui en sont tirées, tels que les engrais. Ainsi, à Singapour, une partie de l'eau de récupération est commercialisée sous le nom de NEWater (voir encadré 16.9). Il est indispensable de disposer de cadres réglementaires et des systèmes de surveillance solides, garantissant l'absence de dangers pour la santé humaine, pour gagner la confiance des consommateurs et faire évoluer la perception du public.

#### ENCADRÉ 16.10 IMPLICATIONS CULTURELLES LIÉES À LA RÉUTILISATION D'EAUX USÉES EN PISCICULTURE AU MOYEN-ORIENT

La réutilisation d'eaux usées en pisciculture est une pratique très répandue, à des degrés divers, dans différentes régions du monde. Une étude de démonstration exhaustive a été menée en Égypte en vue d'utiliser des eaux usées traitées pour l'élevage de poissons et l'irrigation de cultures et d'arbres. Les eaux usées traitées utilisées ont fait l'objet de contrôles rigoureux pour déceler la présence de pathogènes microbiens, de parasites et de produits chimiques toxiques dans l'eau ou les poissons. Bien que les poissons ainsi élevés se soient révélés tout à fait propres à la consommation humaine, les consommateurs égyptiens n'en ont pas voulu.

Source : Mancy et al. (2000).



# CHAPITRE 17

UNESCO-PHI | Sarantuyaa Zandaryaa

UNESCO-IHE | Damir Brdjanovic

**Avec la contribution de :** Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; Pay Drechsel (IWMI) ; Xavier Leflaive (Direction de l'environnement de l'OCDE) ; Takahiro Konami (UNESCO-PHI) ; et le Ministère du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme du Japon

## CONNAISSANCES, INNOVATION, RECHERCHE ET RENFORCEMENT DES CAPACITÉS



Essai de qualité d'eau à Beaver Lake dans le Minnesota



*Ce chapitre passe en revue les tendances en matière de connaissances, de recherche, d'innovation, de renforcement des capacités et de gestion des eaux usées, en mettant l'accent sur les lacunes et les obstacles actuels. Les mesures en réponse à ces difficultés sont présentées sous l'angle du renforcement des capacités, de la sensibilisation du public et d'une collaboration accrue, tout en soulignant les améliorations possibles en termes d'amortissement des coûts et en envisageant les solutions technologiques aux échelles appropriées.*

## 17.1 Tendances en matière de recherche et d'innovation

Les évolutions rapides en matière d'innovation et de progrès technologiques conduisent de plus en plus vers un changement de paradigme en faveur d'une gestion des eaux usées intégrée à une économie circulaire. Au lieu d'envisager la réutilisation de l'eau comme un service supplémentaire coûteux assuré par les stations de traitement des eaux usées, le fait de concevoir ces dernières comme des « usines de récupération de ressources » dans lesquelles les eaux usées et les boues seront exploitées en tant que matières premières dont on tirera des produits de valeur que l'on pourra vendre aux usagers, retient de plus en plus l'attention.

L'évolution de la gestion des eaux usées, en particulier dans les pays développés, a toujours été liée à la lutte contre les épidémies et aux grandes innovations technologiques. Au dix-neuvième siècle, les techniques rudimentaires d'activation des boues (un traitement des eaux usées ayant recours aux micro-organismes pour éliminer les matières organiques des effluents) ont permis, en matière d'assainissement, de passer de « l'Age des ténèbres » au « Siècle des Lumières et à la révolution industrielle » (Cooper, 2001). Les innovations technologiques de la fin du vingtième siècle ont principalement porté sur l'élimination des nutriments (l'azote et le phosphore) afin de remédier au problème très répandu de l'eutrophisation et de réduire les effets des eaux usées sur l'environnement. Vers le début du vingt-et-unième siècle, les besoins et les capacités institutionnelles de gestion étant toujours plus importants en matière de traitement des eaux usées, la priorité en matière de recherche et de technologies s'est portée sur les procédés avancés de façon à satisfaire aux réglementations et aux normes plus strictes concernant les effluents. À l'avenir, les tendances en matière de recherche et d'innovation dans le domaine des eaux usées seront probablement axées autour de la récupération des ressources

afin de réinventer le modèle économique du traitement et de l'élimination des eaux usées et des boues. Les besoins concurrentiels en eau et autres ressources naturelles orientent aussi la recherche et les innovations vers le domaine de la gestion et des technologies des eaux usées.

Les dernières grandes innovations technologiques dans le domaine du traitement des eaux usées (voir encadré 17.1) visent principalement à perfectionner les procédés de traitement (Brdjanovic, 2015 ; Qu et al., 2013 ; Van Loosdrecht et Brdjanovic, 2014).

Tandis que dans certaines régions développées du monde, les technologies de pointe servent de base à la construction des nouvelles stations de traitement, on observe une demande de plus en plus forte en faveur de technologies adaptées aux contraintes institutionnelles et financières des pays à faible revenu, comme celles qui ont des besoins en énergie extérieure limités pour fonctionner et dont les coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance sont inférieurs à ceux des systèmes de traitement par boues activées, tout en assurant une performance analogue (Libhaber et Orozco-Jaramillo, 2012) (voir chapitre 15).

## 17.2 Lacunes en matière de compétences, de technologies et de renforcement des capacités

Le recours aux technologies existantes requiert des moyens techniques et financiers ainsi que des infrastructures qui font souvent défaut aux pays en développement. Il suppose aussi un transfert des compétences, un partage des informations et un renforcement des capacités par le biais de l'éducation et de la formation pour contribuer à la pérennité des applications technologiques. Ces lacunes en matière de compétences, de technologies et de capacités devraient être évaluées au moyen

## À l'avenir, les tendances en matière de recherche et d'innovation dans le domaine des eaux usées seront probablement axées autour de la récupération des ressources

### ENCADRÉ 17.1 INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES ET RECHERCHE DANS LE DOMAINE DES EAUX USÉES

**Filtration membranaire.** Les progrès dans le domaine de la technologie membranaire ont non seulement permis de réduire les risques pour la santé humaine et l'environnement que représentent les eaux usées traitées, mais ont également offert de nouvelles possibilités en matière d'utilisation des eaux usées, comme la réutilisation d'eau rendue potable. Le recours à ces technologies (osmose inverse, microfiltration, ultrafiltration, etc.) est de plus en plus courant dans le cadre des traitements tertiaires ou avancés, surtout dans les pays développés, sachant que les membranes continuent de se perfectionner et que les coûts opérationnels diminuent.

**Les bioréacteurs à membranes** font partie des nouvelles technologies et sont issus des innovations visant à renforcer la séparation assurée par les membranes en l'intégrant au procédé par boues activées. Le nombre de stations de traitement équipées de cette technologie est depuis peu en plein essor (Van Loosdrecht et Brdjanovic, 2014). On compte parmi les avantages qu'offrent les bioréacteurs à membranes leur taille réduite, leur souplesse ainsi que la possibilité de les exploiter à distance en toute fiabilité.

**Les piles à combustible microbiennes**, innovation technologique basée sur les processus bioélectrochimiques des bactéries, ont commencé à être utilisées dans les stations de traitement au cours de ces dix dernières années afin de collecter de l'énergie (du courant électrique) en ayant recours à la digestion anaérobie, qui reproduit les interactions bactériennes naturelles. Cette technologie permet de réduire considérablement les coûts de traitement ainsi que la quantité de boues restantes. Il est cependant nécessaire, compte tenu des difficultés liées à une transposition à plus grande échelle dans la perspective d'une application concrète, de poursuivre les recherches et d'apporter des améliorations sur le plan technique permettant de remédier à la forte consommation d'énergie qu'elle nécessite.

**Les innovations en matière de traitements biologiques** se sont traduites en applications performantes en raison de leur grande efficacité et des investissements et coûts opérationnels limités qu'elles requièrent. On compte parmi ces traitements des innovations en matière d'élimination améliorée de l'azote tel que le procédé SHARON® (« Single High Ammonia Removal Over Nitrite », un procédé de nitrification partielle par voie nitrite), le procédé ANAMMOX® (« Anaerobic Ammonium Oxidation », un procédé d'oxydation anoxique de l'ammonium) et le procédé BABE® (« Bio Augmentation Batch Enhanced »), ainsi que des processus de cristallisation minérale destinés à la récupération du phosphore et sa réutilisation. Les procédés de traitement des boues granulaires font aussi leur apparition grâce à des structures microbiennes modifiées. Le premier procédé de ce type à être commercialisé est le NEREDA®.

**Les nanotechnologies** représentent un nouveau domaine en plein essor dont les applications sont très prometteuses en matière de purification de l'eau et de traitement des eaux usées, ainsi que dans le domaine de la qualité de l'eau et de la surveillance des eaux usées (Qu et al., 2013). Pour le moment, les applications des nanotechnologies dans le domaine de l'eau et du traitement des eaux usées sont principalement axées sur la maturation des technologies et leur démonstration complète.

**Les systèmes de surveillance et de contrôle des eaux usées innovants** peuvent être utilisés grâce à l'amélioration de la technologie. On compte parmi les avancées technologiques les plus prometteuses : des techniques de contrôle innovantes basées sur de nouveaux capteurs, des dispositifs de télémétrie automatisés et de nouveaux outils d'analyse de données. La recherche sur les capteurs et les systèmes de contrôle progresse rapidement. De nouvelles méthodes permettant de contrôler le traitement des eaux usées apparaissent en permanence, notamment par le biais des applications mobiles permettant d'exploiter le système SCADA (« Supervisory Control and Data Acquisition ») pour la surveillance et le contrôle à distance des systèmes d'eaux usées.

**Les systèmes de traitement naturels (zones humides artificielles)** sont de plus en plus plébiscités en tant que solutions naturelles et innovantes permettant de pallier les contraintes technologiques actuelles, la recherche étant de plus en plus axée sur les procédés naturels.

**La modélisation** constitue à présent un aspect important des évolutions de la recherche dans le domaine des eaux usées, étant donné les progrès des savoirs fondamentaux en microbiologie et en biochimie et l'amélioration des capacités de calcul. La modélisation ne permet pas seulement de traduire les savoirs scientifiques en applications pratiques, mais facilite aussi les échanges entre scientifiques et ingénieurs du monde entier (Brdjanovic, 2015).

d'une analyse des capacités et des lacunes, ce qui facilitera les efforts requis en matière de transfert des connaissances, d'éducation et de renforcement des capacités, là où ils seront nécessaires

Le fait que les traitements des eaux usées secondaires et avancés soient très rares dans les pays en développement révèle qu'il est urgent de moderniser les technologies employées et de garantir des possibilités d'utilisation sans risque afin de pouvoir atteindre la cible 6.3 des ODD (voir chapitre 2). Il convient donc d'assurer un transfert de technologies adaptées et abordables des pays développés vers les pays en développement, en l'accompagnant d'un transfert des connaissances et d'un renforcement des capacités. Parallèlement à la coopération Nord-Sud, la coopération Sud-Sud est aussi en mesure d'aider les pays en développement à renforcer leurs capacités scientifiques, technologiques et d'innovation. Il convient, de la même façon, de promouvoir le transfert des nouvelles technologies, dès lors que leur application est possible et abordable.

Les polluants émergents (voir encadré 4.1) font bien évidemment l'objet de lacunes en termes de connaissances et de recherche. Il faut mener des recherches de façon à mieux cerner les dynamiques de ces polluants dans les ressources en eau et l'environnement, et perfectionner les méthodes permettant de les éliminer des eaux usées (UNESCO, 2015). Il est nécessaire de mettre au point des techniques plus perfectionnées pour évaluer, contrôler et éliminer les polluants émergents, tout comme il faut par ailleurs poursuivre les recherches consacrées au risque de développement de pathogènes multirésistants. Il existe aussi d'importantes lacunes dans les cadres réglementaires et les systèmes de surveillance, ainsi qu'en ce qui concerne la disponibilité des données se rapportant aux taux de polluants émergents dans les eaux usées et les eaux réceptrices (UNESCO, 2015).

Il convient également, en matière de recherche et de renforcement des capacités, de procéder à une nouvelle évaluation des risques que présentent pour la santé les agents pathogènes présents dans les eaux usées, et de prévoir les mesures d'atténuation qui s'imposent dans les pays en développement. Les principales évaluations des risques sanitaires sont basées sur des modèles ayant fait l'objet de multiples études et vérifications dans les pays développés. Il faut mener des études analogues et mettre au point des modèles de ce type propres aux pays en développement. Les mesures d'atténuation des risques sanitaires tiennent compte en général des menaces que représentent les pathogènes, mais il convient aussi de prendre en considération les risques sanitaires liés aux polluants chimiques, compte tenu notamment

#### ENCADRÉ 17.2 MISE EN APPLICATION DE TECHNOLOGIES DE POINTE DANS LE DOMAINE DES EAUX USÉES AU JAPON

Le Gouvernement du Japon soutient l'innovation dans le domaine du traitement des eaux usées et de la récupération des ressources par le biais du projet B-DASH (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology) afin de mettre en application des technologies de pointe en subventionnant les innovations et en normalisant leur application. Dans le cadre du projet, les sociétés privées peuvent demander, en partenariat avec les autorités locales, des subventions pour la réalisation d'essais sur le terrain et la mise en application de nouvelles technologies, y compris pour la construction d'une installation. Les résultats de ces essais de terrain servent à l'élaboration de directives de normalisation, lesquelles sont établies par l'Institut national pour la gestion du territoire et des infrastructures du Japon. Au total, 31 nouvelles technologies ont été adoptées et mises en pratiques grâce au projet B-DASH depuis son lancement en 2011, et certaines sont susceptibles d'être appliquées au niveau mondial dans un avenir proche.

Ainsi, en 2012, deux sociétés japonaises ont collaboré avec les autorités municipales d'Osaka dans le cadre de l'essai d'un nouveau système de canalisations dédié à l'exploitation de la chaleur des eaux usées dans la station de traitement des eaux usées d'Ebie. Ce nouveau système permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> provenant des systèmes de climatisation ou d'alimentation en eau chaude de 15 à 25 % par rapport aux technologies classiques. En 2014, une nouvelle directive consacrée à la mise en place d'un système de récupération de chaleur par canalisations a été mise au point sur la base des résultats des essais de terrain. En outre, afin d'encourager les investissements du secteur privé dans le domaine des eaux usées, la loi sur les eaux usées a été modifiée en 2015 pour permettre aux entreprises privées d'installer des échangeurs thermiques dans les égouts.

*Contribution du Ministère japonais du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme et de Takahiro Konami (UNESCO-PHI).*

de la mauvaise gestion des eaux usées industrielles dans les pays en développement ou émergents.

Il est par ailleurs crucial de comprendre quelle influence auront certains facteurs externes, comme les changements climatiques, sur la gestion des eaux usées. Les recherches concernant les effets des changements climatiques sur les systèmes et les procédés de traitement des eaux usées sont très récentes (GWP, 2014) et bien des questions restent à examiner. Il convient en outre de mener davantage de travaux de recherche et de mettre au point des outils innovants pour la collecte et le partage des données, afin de remédier aux lacunes considérables dans le domaine des eaux usées.

### 17.2.1 Obstacles à la recherche, à l'innovation et aux applications technologiques

Le manque de financement constitue un obstacle majeur à l'application des technologies existantes dans les pays en développement, mais également à la promotion de la recherche et au passage des nouvelles technologies à des applications à grande échelle dans les pays développés. Les coûts élevés des technologies de pointe ne permettent pas leur application généralisée, surtout dans les pays en développement. Par ailleurs, l'existence d'un marché de niche pour les nouvelles applications technologiques freine l'innovation (Daigger, 2011). Le manque de connaissances concernant le marché des produits tirés des eaux usées s'ajoute à cette difficulté. La pénurie de données et d'informations relatives aux eaux usées constitue un autre obstacle de taille pour la recherche et l'innovation, tout comme le lien (souvent inexistant) entre le milieu académique, le secteur de l'industrie et les autorités locales.

Pour traduire l'innovation en applications pratiques, il est nécessaire de chercher des possibilités de financement et des moyens de mettre en place un marché de niche pour les nouvelles technologies, de renforcer les capacités humaines et techniques et de mobiliser les parties prenantes, notamment le secteur privé. Il est pour ce faire nécessaire de pouvoir compter sur une forte volonté politique et tout le soutien des pouvoirs publics (voir encadré 17.2).

## 17.3 Tendances futures dans le domaine de la gestion des eaux usées

Tandis que par le passé les innovations en matière d'eaux usées étaient principalement axées sur les procédés de traitement avancé, de nouvelles solutions innovantes voient à présent le jour, qui conjuguent à la fois aspects techniques et liés à la gestion.

Les tendances en matière de gestion des eaux usées sont de plus en plus axées sur la réutilisation de l'eau et la récupération des ressources, ce qui présente l'intérêt supplémentaire de sauvegarder la santé publique et de réduire la pollution de l'environnement. Ainsi, la réutilisation de l'eau, la mise au point d'engrais commerciaux (au phosphore), et plus encore la récupération d'énergie, peuvent permettre de réduire les coûts d'exploitation et de maintenance (Wichelns et al., 2015).

Les solutions innovantes en matière de gestion des eaux usées notamment basées sur des approches interdisciplinaires et intégrées sont aussi de plus en plus courantes et suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la recherche. Un degré de décentralisation approprié, permettant de conjuguer solutions centralisées et décentralisées, semble également être une autre possibilité qui permettrait la transition depuis des installations d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées surdimensionnées et centralisées vers des infrastructures permettant une gestion à une échelle plus appropriée (voir chapitre 15).

### 17.3.1 Passer du traitement des eaux usées à la réutilisation de l'eau et à la récupération des ressources

Les progrès technologiques dans le domaine du traitement des eaux usées de ces dernières décennies ont permis de faire passer l'objectif premier de la gestion des eaux usées du « traitement et élimination » à la « réutilisation, recyclage et récupération des ressources ». De nombreuses solutions techniques en faveur de la récupération des ressources issues des eaux usées et des boues existent à des degrés divers de développement et d'application, et connaissent une évolution rapide (voir chapitre 16). Les possibilités technologiques en matière de récupération des ressources créent par ailleurs un nouveau marché spécialisé caractérisé par des modèles économiques rentables, ce qui favorise la viabilité des solutions mises en application (Strande et al., 2014 ; Otoo et Drechsel, 2015), même s'il est nécessaire de consacrer davantage de travaux aux marchés de la récupération des ressources et aux modèles de revenus économiquement viables en la matière.

On note dans le domaine de la récupération des ressources une tendance en faveur des approches de gestion innovantes, plus particulièrement la récupération des ressources intégrée, qui nécessite par ailleurs des réglementations propices, une demande du marché, des investissements, l'acceptation de la population et la volonté de collaborer de la part des différentes parties prenantes. Il est également nécessaire d'adopter une vision d'ensemble, de façon à garantir une réflexion collective parmi les futurs professionnels du secteur, les décideurs et les distributeurs (Holmgren et al., 2015).

À l'avenir, les stations de traitement des eaux usées devront fournir des ressources de récupération et de l'eau de bonne qualité qui pourront être réutilisées dans divers secteurs, tout en étant rentables et autonomes sur le plan énergétique.



### 17.3.2 Conjuguer solutions centralisées et décentralisées à une échelle appropriée

Entre les systèmes d'assainissement sur site et les systèmes hors site, les dernières innovations ont montré qu'il existait tout un éventail de solutions mixtes, parmi lesquelles les installations combinées de gestion des eaux usées centralisées et décentralisées, susceptibles de convenir à des zones étendues, tout en présentant les avantages de la décentralisation, tels qu'un investissement limité, des coûts d'exploitation et de maintenance réduits et une possibilité d'adaptation à des conditions locales (Cairns-Smith et al., 2014).

Le concept de « systèmes d'eaux usées répartis », qui renvoie à une approche très localisée et axée sur les réseaux en matière de production, de distribution et de consommation, peut se voir comme une solution basée sur l'association de différents systèmes centralisés et décentralisés permettant une gestion des eaux usées dans le cadre d'un groupe de systèmes reliés entre eux. Cette solution est plus efficace en termes de temps, d'énergie et de coûts, tout en produisant des externalités positives pour l'utilisateur final et l'environnement. D'importantes difficultés peuvent néanmoins se présenter dans le cadre de la mise en œuvre (voir encadré 17.3).

Des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de mieux comprendre comment combiner les systèmes en un éventail de solutions (canalisées ou non), quelle qu'en soit l'échelle, dans les pays où les infrastructures des eaux usées sont toutes récentes (Cairns-Smith et al., 2014). Les aspects clés de la recherche dans ce domaine sont notamment : la rentabilité, le comportement du consommateur, son acceptation, les mesures d'incitation, les modèles économiques et les dispositifs institutionnels. Il convient en outre de tenir compte des questions liées au régime de propriété, à l'acceptation par les ménages et au financement de ces systèmes, surtout dans les pays en développement.

## 17.4 Renforcement des capacités, sensibilisation du public et collaboration entre parties prenantes

Dans les pays les moins développés, l'accès aux connaissances scientifiques, à la recherche, aux nouvelles technologies, à une éducation et à une formation adéquates, concernant les solutions durables en matière de gestion des eaux usées fait défaut.

### ENCADRÉ 17.3 LES SYSTÈMES D'EAUX USÉES RÉPARTIS : UNE ALTERNATIVE AUX SYSTÈMES CENTRALISÉS

Les systèmes répartis reposent sur une approche souple, localisée et très axée sur les réseaux dans le cadre de laquelle l'infrastructure principale joue le rôle d'une artère, tandis que les usagers sont en prise avec des systèmes de taille plus restreinte et adaptés aux conditions locales (Biggs et al., 2009). Les systèmes répartis ne représentent pas seulement une innovation sur le plan technique, mais nécessitent aussi un type de gestion novateur, ce qui n'en fait pas des systèmes adaptés à tous les contextes. Même lorsqu'ils s'avèrent être les systèmes les plus adaptés, ces systèmes sont confrontés à de nombreux obstacles qui limitent leur développement (OCDE, 2015b) :

Premièrement, ils peuvent affaiblir les systèmes centraux existants (par exemple en ce qui concerne la collecte et le traitement des eaux usées) lorsque les consommateurs les plus aisés s'en retirent, ce qui prive le service gestionnaire de certaines recettes. Cela pose problème, car les systèmes répartis donnent les meilleurs résultats lorsqu'ils sont associés à des infrastructures à canalisations centralisées. Les services publics et les autorités municipales auront peut-être des réticences à envisager des solutions qui entament les recettes des réseaux existants, à moins que d'autres sources de revenus ne soient établies.

Deuxièmement, les systèmes répartis posent la question de la responsabilité : qui est responsable et rend compte des services fournis au niveau du bâtiment ou du quartier ? La responsabilité pose problème dès lors que ces systèmes sont censés pouvoir contrôler la qualité de plusieurs débits d'eau à différents niveaux, ce qui entraînera par ailleurs des coûts supplémentaires.

Troisièmement, la complexité des économies d'échelle dans le domaine de la gestion des eaux urbaines doit aussi être prise en compte. Compte tenu des économies d'échelle matérielles, les coûts d'exploitation d'une grande station de traitement sont généralement moins élevés que ceux de plusieurs petites stations. Néanmoins, ceci peut être compensé par les économies de systèmes, étant donné les coûts d'investissement liés à l'agrandissement des infrastructures centralisées par rapport au traitement et aux technologies de réutilisation des eaux usées sur place.

Source : OCDE (2015b).

Contribution de Xavier Leflaive (Responsable de l'équipe Eau, Direction de l'environnement de l'OCDE).

L'éducation et le renforcement des capacités sont essentiels et peuvent être assurés par le biais de programmes de formation axés sur divers aspects de la gestion des eaux usées dans les pays en développement et s'adressant à la fois aux professionnels du secteur et aux étudiants, dans le cadre de programmes d'enseignement formel à différents niveaux. Ceci peut avoir un impact direct sur les questions de perception et d'acceptation sociales, surtout en ce qui concerne l'utilisation des eaux usées et la récupération des ressources.

Il ne faut pas négliger la dimension sociale. La réutilisation sans risque de l'eau, par exemple, requiert une participation active des parties prenantes, axée sur la compréhension des avantages et des risques. Les campagnes d'information publique sont en mesure de sensibiliser le grand public aux moyens dont l'eau peut être et est réutilisée sans risque, même pour être bue, par le biais d'exemples concrets, comme la réutilisation d'eau par les membres de la station spatiale internationale. Favoriser l'implication des parties prenantes et le renforcement des capacités le plus tôt possible est essentiel à la réussite des projets de réutilisation de l'eau. Lorsque cette réutilisation repose sur une approche multibarrières, les changements comportementaux et l'acceptation des pratiques optimales sont des gages de réussite. Sachant qu'il est possible que les parties prenantes n'aient pas une connaissance suffisante des risques, ou qu'elles ne bénéficient pas directement de l'adoption des mesures de sécurité, il faut veiller à une meilleure connaissance des mesures d'incitation sexospécifiques (à la fois positives et négatives) afin de mettre en avant les pratiques recommandées et ainsi favoriser leur adoption au niveau local (Karg et Drechsel, 2011).

Le renforcement des capacités institutionnelles est essentiel. Si l'entité chargée de l'exploitation et de la maintenance des installations des eaux usées ne dispose pas des capacités institutionnelles appropriées, il y aura toujours un risque d'échec, que cette entité pilote de petits systèmes décentralisés ou de vastes stations centralisées (Murray et Drechsel, 2011). Il convient à cet égard d'assurer la formation d'une nouvelle génération de scientifiques, d'ingénieurs et de techniciens, en tenant compte des différents aspects liés à la gestion des eaux usées,

de façon à pouvoir faire face aux problèmes qui découlent de questions de plus en plus complexes et interdépendantes, à tous les niveaux. Les futurs gestionnaires du secteur des eaux usées devront disposer de compétences sur le plan technique comme en matière de gestion pour pouvoir élaborer et mettre en œuvre une variété de solutions tout au long de la chaîne des eaux usées, de la réduction de la pollution à la source à la collecte et au traitement des eaux usées, en passant par la réutilisation de l'eau et la récupération des sous-produits utiles.

Des efforts concrets s'imposent en faveur de la formation des femmes dans le domaine des eaux usées, de façon à favoriser leur présence aux plus hauts échelons des instituts scientifiques et des instances de décision, et ce dans les pays développés comme dans les pays en développement (WWAP, 2016). Il y a aussi, dans les pays développés comme dans les pays en développement, des besoins urgents en matière d'éducation sur la valeur des eaux usées, à tous niveaux, de l'éducation informelle des enfants et des adultes aux plus hauts cursus scolaires, et sur les risques que représente une mauvaise gestion des eaux usées pour la santé humaine et l'environnement.

L'élaboration et la mise en œuvre d'approches innovantes, pluridisciplinaires et globales en matière d'éducation et de formation, faisant intervenir des ressources pédagogiques actualisées, accessibles à distance et axées sur les étudiants et les problématiques, sont essentielles afin de pouvoir affronter les enjeux et défis avec davantage de compréhension, de connaissances et d'assurance.

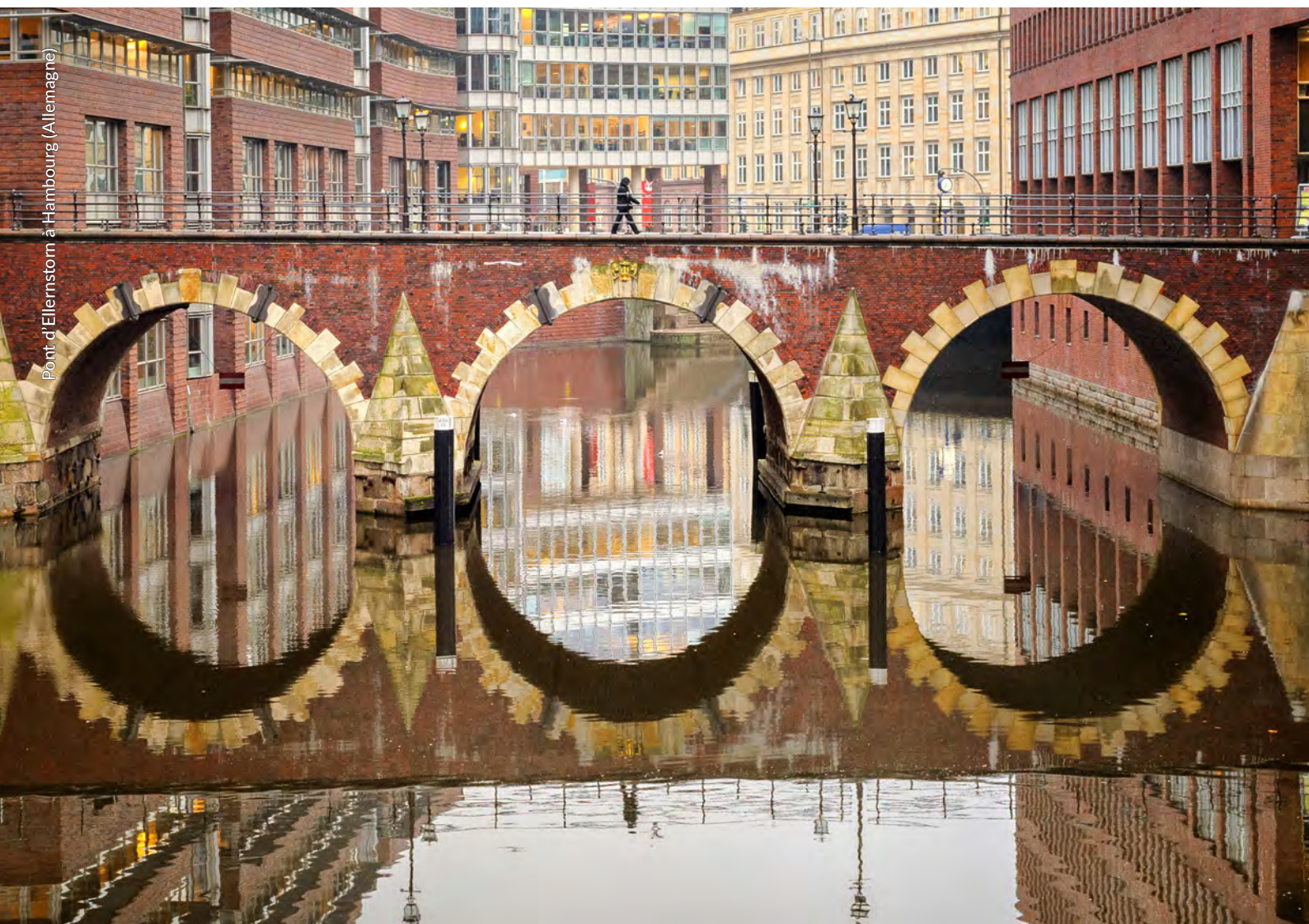


# CHAPITRE 18

**WWAP** | Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül et Stefan Uhlenbrook

**Avec la contribution de :** Marianne Kjellén (PNUD) ; Sarah Hendry (Centre sur la législation, les politiques et les sciences relatives à l'eau (sous les auspices de l'UNESCO), Université de Dundee) et Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI)

## CRÉER UN ENVIRONNEMENT FAVORABLE



Pont d'Ellernstom à Hambourg (Allemagne)

*En conclusion, ce chapitre présente une feuille de route des réponses, possibilités de solution et moyens de mise en œuvre qui peuvent être adoptés pour favoriser le progrès vers une meilleure gestion des eaux usées. Ces possibilités vont bien au-delà du simple détail technique, pour inclure les cadres juridiques et institutionnels, les possibilités de financement, le développement des connaissances et des capacités, l'atténuation des risques pour la santé humaine et environnementale, et la promotion de l'acceptation sociale. Étant donné que les défis varient d'un endroit à l'autre dans le monde, il incombe aux parties prenantes et aux décideurs dans chaque région, pays, bassin et communauté, de déterminer la combinaison de possibilités la plus appropriée pour leur contexte particulier.*

Il est essentiel d'aborder les défis liés à la gestion des eaux usées à travers le monde pour améliorer la santé humaine et les moyens de subsistance, promouvoir la croissance des économies locales et nationales, améliorer la qualité de l'eau, de l'air et de la terre, protéger et améliorer les écosystèmes ainsi que les services qu'ils offrent. En effet, l'amélioration de la gestion des eaux usées est un facteur déterminant pour la réalisation d'un développement durable pour tous. Néanmoins, les eaux usées, comme l'indique de bout en bout le présent rapport, ne constituent pas simplement un problème en quête de solutions, mais une précieuse ressource qui, si elle est gérée convenablement, peut être source d'énormes possibilités et de multiples avantages.

La demande d'eau, et son utilisation, sont en hausse dans la plupart des régions du monde, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et de l'amélioration des conditions socioéconomiques. Dans le même temps, la disponibilité des ressources en eau est de plus en plus compromise par les changements climatiques, les prélèvements non durables des eaux souterraines et la pollution. Dans plusieurs régions, de l'ouest des États-Unis et du sud de l'Europe à certaines parties de la Chine et de l'Inde, en passant par l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, les ressources en eau douce subissent déjà une forte contrainte et les fournisseurs de services ont du mal à satisfaire la demande en eau douce en hausse constante. La réutilisation de l'eau améliore la disponibilité d'eau douce pour satisfaire les besoins humains et environnementaux, et se pratique d'ailleurs déjà dans plusieurs régions. En fonction du niveau de traitement, les eaux usées peuvent être, et sont utilisées à de multiples fins, de l'irrigation et l'aménagement d'espaces verts à l'utilisation industrielle, voire comme source d'eau potable.

L'utilisation accrue d'eau entraîne une production accrue d'eaux usées. Et dans la situation actuelle, où une grande partie des eaux usées générées à travers le monde est rejetée sans aucun traitement, les impacts sur la santé humaine et l'environnement ont augmenté proportionnellement.

Le traitement approprié des eaux usées avant leur rejet réduit les charges de pollution sur l'environnement ainsi que les risques pour la santé humaine. Certains procédés de traitement avancés peuvent s'avérer prohibitifs, en particulier pour

les communautés les plus pauvres. Cependant, lorsqu'on les compare avec le coût de la construction d'un nouveau barrage, le dessalement ou l'importation d'eau à partir d'un autre bassin, et lorsque les avantages en matière de protection de la santé et de l'environnement sont pris en considération, l'amélioration de la gestion des eaux usées s'avère intéressante du point de vue économique, en particulier dans un contexte de pénurie des ressources en eau. L'amélioration de la gestion des eaux usées peut également conduire à la création d'emplois directs et indirects dans des secteurs qui sont tributaires de la disponibilité des ressources en eau, et ailleurs (WWAP, 2016).

Il existe essentiellement deux approches pour relever les défis liés à la pollution par les eaux usées. La première consiste à prévenir l'usage excessif (quantité) et la contamination de l'eau au point d'utilisation initiale et, ainsi, à réduire le volume global des eaux usées produites et les charges de pollution qu'elles contiennent. La seconde implique la collecte d'eaux usées et l'application de niveaux appropriés de traitement (c'est-à-dire des solutions en aval) pour d'autres utilisations ou le rejet dans l'environnement. Cette approche comprend l'établissement de normes de qualité et de réglementations pour les flux d'eaux usées entrants et sortants. Dans les cas où la prévention et les traitements appropriés sont irréalisables, des solutions abordables sont disponibles pour réduire les risques d'exposition à des eaux usées non traitées (voir par exemple OMS, 2006a).

La planification de la réutilisation de l'eau a pris de l'ampleur dans le contexte de la gestion durable des ressources en eau, l'écologisation de l'économie et l'urbanisme (cf. Lazarova et al., 2013). Toutefois, l'eau n'est pas la seule ressource qui peut être récupérée à partir des eaux usées : des nutriments, de la matière organique, de l'énergie et d'autres sous-produits utiles peuvent également être extraits de certains types d'eaux usées. À titre d'exemple, le rapport coût-efficacité de la récupération d'énergie (biogaz) à partir des boues d'épuration est bien documenté (cf. WWAP, 2014 ; ONU-Eau, 2015a). La récupération de l'eau et de sous-produits utiles est essentielle pour assurer un équilibre entre le développement économique d'une part, et la protection de l'environnement et des ressources, d'autre part, dans le cadre d'une économie circulaire.



Le cycle de gestion des eaux usées comprend quatre phases essentielles :

1. La réduction et la prévention de la pollution à la source ;
2. L'élimination des contaminants du flux d'eaux usées (c'est-à-dire le traitement) ;
3. L'utilisation des eaux usées traitées à différentes fins ;
4. La récupération de sous-produits utiles.

Ces phases peuvent être perçues comme des phases différentes, mais interdépendantes dans un processus logique, ou une approche en échelle, au sein du cadre global de l'IWMI. À ce titre, un certain nombre d'aspects techniques, réglementaires et financiers doivent être pris en compte afin d'améliorer la gestion des eaux usées et de maximiser ses possibilités et avantages.

La pénurie des ressources en eau gagne en importance dans l'agenda politique mondial, et figure notamment dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030. Les ODD inclus dans ce Programme préconisent également une meilleure qualité de l'eau grâce à une meilleure gestion des eaux usées (AGNU, 2015a). En effet, l'intégrité et la diversité biologique des écosystèmes sont de plus en plus affectées par les eaux usées, qui compromettent les services écosystémiques dont dépend le développement durable, dans toutes ses dimensions, économique, sociale et environnementale.

Étant donné le rôle potentiel des eaux usées dans la résolution des problèmes de pénurie d'eau, de pollution et de récupération des ressources, il n'est pas surprenant que la gestion des eaux usées fasse l'objet de plus d'attention. Par ailleurs, dans la situation actuelle où les eaux usées sont très peu traitées et encore moins utilisées, les opportunités potentielles de l'exploitation des eaux usées convenablement traitées en tant que ressource sont énormes. Les sections suivantes décrivent un certain nombre de réponses qui, collectivement, contribueraient à créer un environnement favorable pour l'amélioration de la réutilisation de l'eau et la récupération de sous-produits utiles.

## 18.1 Choix techniques

En dépit de la multiplication des cas de réutilisation de l'eau à des fins agricoles, industrielles, environnementales, récréatives et pour la consommation, le potentiel d'utilisation des eaux usées « adaptées à l'usage prévu » n'est pas encore pleinement exploité, en particulier dans les pays en développement et dans les économies émergentes. Alors que les pays à revenu élevé traitent environ 70 % des eaux usées qu'ils produisent, les pays à revenu intermédiaire inférieur et les pays à faible revenu,

respectivement, traitent seulement environ 28 % et 8 % de leurs eaux usées (Sato et al., 2013).

Le choix des technologies est largement fonction du site. Les eaux usées sont gérées dans un vaste ensemble de systèmes climatiques, avec des degrés de disponibilité des ressources en eau, des niveaux de développement économique, des types d'activité économique et des occupations du territoire différents, qui entraînent des défis différents pour la gestion des eaux usées et de la qualité de l'eau (PNUE, 2015a). En dépit des lacunes actuelles en matière de connaissances, une large gamme de solutions techniques a été élaborée, et il s'agit le plus souvent de choisir et de mettre en œuvre les technologies adaptées au bon endroit, de manière à optimiser la combinaison la plus appropriée qui allie à la fois les infrastructures grises et vertes.

Pour les pays en développement, des technologies de traitement des eaux usées appropriées, efficaces et peu coûteuses sont disponibles (voir chapitre 15). Les traitements préliminaire, primaire et secondaire peuvent être des procédés simples susceptibles de produire des effluents qui répondent à la qualité requise pour différents usages, avec de faibles coûts d'investissement et, en particulier, de faibles coûts de fonctionnement et d'entretien (Jiménez-Cisneros, 2011 ; Orozco-Jaramillo Libhaber et, 2012), surtout lorsqu'ils sont associés à une infrastructure verte bien gérée (voir chapitre 8). Étant donné que les processus biologiques produisent de meilleurs résultats à des températures plus élevées, beaucoup de ces processus sont particulièrement adaptés aux pays chauds, dont font partie la plupart des pays en développement (Qadir et al., 2015b). Leur objectif sera d'accroître progressivement les niveaux de traitement des eaux usées, passant des processus de traitement préliminaire, primaire et secondaire à des procédés de traitement tertiaire, et générant ainsi des effluents de meilleure qualité.

Il est également important de choisir le système de traitement des eaux usées le plus approprié. Bien qu'il n'existe pas de solution commune unique, les systèmes DEWATS à faible coût sont de plus en plus acceptés et utilisés dans les pays développés et les pays en développement (voir chapitre 15). Pour les pays en développement en particulier, il a été suggéré que des usines centralisées de traitement de pointe constituent un investissement risqué en raison de l'insuffisance des capacités institutionnelles et du financement. Des technologies appropriées s'appuyant sur des processus simples avec une réduction des coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien sont généralement plus durables, et proposent potentiellement des effluents de niveaux de qualité adéquats pour plusieurs utilisations, y compris l'agriculture (Libhaber et Orozco-Jaramillo, 2012). On estime que les coûts d'investissement pour ces usines de traitement simples ou « appropriées » ne représentent que de 20 à 50 %

des coûts des usines de traitement classiques, avec des coûts d'exploitation et d'entretien encore plus faibles (autour de 5 à 25 % par rapport aux usines classiques de traitement des boues activées) (Wichelns et al., 2015).

Bien que les pays développés possèdent généralement des systèmes de gestion des eaux usées de pointe, ils font également face à un certain nombre de défis, notamment le vieillissement des infrastructures qui sont souvent inadaptées pour faire face aux charges d'eaux usées actuelles (voir chapitre 12), l'érosion des effectifs (WWAP, 2016), et l'inquiétude croissante face aux polluants émergents (voir les chapitres 4 et 17).

Le concept « adapté à l'usage prévu » est un autre facteur déterminant. Étant donné qu'il est peu probable que la capacité de traitement des eaux usées de pointe dans les pays en développement augmente sensiblement dans un proche avenir, il sera important d'élaborer et d'adopter des technologies adaptées qui traitent les eaux usées à des niveaux appropriés pour certaines utilisations. L'histoire montre que l'irrigation en agriculture constitue l'utilisation la plus courante des eaux usées partiellement traitées, et leur utilisation à cette fin a été signalée dans environ 50 pays, sur 10 % de toutes les terres irriguées (FAO, 2010). Il existe également d'autres possibilités d'utilisation des eaux usées traitées, de l'arrosage des espaces verts à la consommation, chaque usage exigeant un niveau de traitement différent. L'intégration de ces utilisations potentielles dans les systèmes de gestion des eaux usées (à travers un traitement « adapté à l'usage prévu ») est requise pour libérer l'important potentiel de la réutilisation de l'eau (voir chapitre 16).

Enfin, les technologies de récupération de sous-produits utiles à partir des eaux usées, tels que l'énergie (chaleur et biogaz) et les nutriments, ont évolué rapidement et sont de plus en plus rentables, particulièrement lorsqu'on les considère dans le cycle intégral de gestion des eaux usées (voir chapitre 16). Par exemple, l'énergie thermique, chimique et hydraulique contenue dans les eaux usées peut être récupérée sous forme de biogaz, de chauffage/refroidissement ou d'électricité par l'intermédiaire de procédés sur place ou hors site (Meda et al., 2012), et il existe différentes technologies pour la récupération d'énergie sur place à travers des procédés de traitement de boues et biosolides intégrés dans les usines de traitement des eaux usées. Par ailleurs, il existe de nouvelles méthodes pour la récupération du phosphore des eaux usées et pour la transformation de boues des fosses septiques en engrais à faible coût. Les innovations technologiques dans ces domaines joueront un rôle essentiel dans la promotion de la récupération et la réutilisation des ressources, en particulier dans les pays en développement et les marchés émergents (Hanjra et al., 2015a).

## 18.2 Cadres juridiques et institutionnels

L'une des principales raisons pour lesquelles les eaux usées sont largement négligées est qu'il manque souvent un cadre institutionnel, et que de nombreux services publics d'approvisionnement en eau réformés tardent à se rendre compte de la valeur de l'investissement dans les infrastructures de traitement des eaux usées (ONU-Eau, 2015a). L'amélioration de la gouvernance des eaux usées exige donc l'alignement des intérêts divers, de façon à permettre aux personnes et organisations de collaborer en vue de satisfaire les besoins communs de base tout en maximisant les avantages à travers les diverses étapes de la gestion des eaux usées (voir chapitre 3).

Les cadres réglementaires doivent être adaptés au temps et au lieu, et reconnaître la diversité des économies et des cultures et les besoins très différents des diverses composantes de la société (PNUE, 2015b). Certes, il est nécessaire d'élever les normes de qualité de l'eau presque partout, mais pour réaliser des progrès, il faudra adopter une approche progressive et flexible. Une réglementation adéquate est coûteuse en temps et en ressources financières, mais si les coûts et avantages de l'ensemble du cycle de vie sont pris en compte, les gains pour la société, l'environnement et l'économie peuvent être considérables (PNUE, 2015a). Un cadre réglementaire efficace exige que l'autorité de mise en œuvre ait la capacité technique et de gestion nécessaire et soit indépendante dans son action, avec suffisamment de pouvoirs pour appliquer des règles et des lignes directrices. La transparence et l'accès à l'information motivent les uns et les autres à se respecter les règles, tout en favorisant la confiance entre les utilisateurs, concernant la mise en œuvre et l'application de procédures (ONU-Eau, 2015b).

La gestion des eaux usées constitue une préoccupation internationale, étant donné que les problèmes de pollution ne connaissent pas de frontières. L'exemple du Danube et de la mer Noire illustre bien la collaboration internationale dans ce domaine (voir encadré 3.1). Une coordination internationale et nationale appropriée peut contribuer à assurer que les ressources financières limitées soient dépensées de la manière la plus efficace possible.

Toutefois, les mesures visant à lutter contre la pollution de l'eau, par des procédés de production et de consommation plus propres et un traitement plus efficaces et complet, sont presque toujours prises au niveau local. Par conséquent, la réglementation locale, la consultation des parties prenantes et la motivation pour l'observation de ces mesures demeurent des éléments essentiels de toute stratégie de gestion durable des eaux usées.

Les politiques et les instruments de réglementation sont également mis en œuvre localement et doivent

être adaptés à des circonstances variées. Par exemple, lorsque les inégalités économiques sont criantes, il est peu probable qu'une stratégie centralisée de prestation de services desserve tous les utilisateurs. Il est donc important que le soutien politique, institutionnel et financier soit réparti également, étant donné que les initiatives ascendantes, partant de la base, et les initiatives locales à petite échelle (c'est-à-dire décentralisées) de fourniture de services de gestion des eaux usées nécessitent également du soutien et un environnement favorable pour prospérer.

De même, les modes de traitement et d'utilisation des eaux usées doivent être choisis selon les circonstances locales, en prenant en considération les besoins écosystémiques, les utilisations concurrentes de l'eau et les pratiques acceptables au plan culturel. Avec ces contraintes, l'eau peut, et doit, être réutilisée le plus intensément possible comme une réponse à la rareté de l'eau et à la demande croissante pour les besoins alimentaires et d'approvisionnement en énergie. Lorsque des effluents de haute qualité sont nécessaires, l'adoption d'une législation en matière de réutilisation de l'eau (ou des changements dans la législation) constitue le principal facteur clé qui influence les usines de traitement dans le changement de leur technologie actuelle, dans la mesure où elle les oblige à mettre en œuvre essentiellement des plans de traitement avancé (DEMOWARE, 2016)

Dans de nombreux pays, de nouvelles dispositions législatives et institutionnelles seront nécessaires pour prendre en charge et réglementer l'utilisation des eaux usées à diverses fins, de l'irrigation et du recyclage des eaux industrielles à la recharge des aquifères et l'amélioration des services écosystémiques. En tant que source d'eau supplémentaire, les eaux usées traitées peuvent être intégrées dans les réseaux d'adduction d'eau nationaux (Hanjra et al., 2015b).

De nouvelles réglementations concernant la récupération des sous-produits des eaux usées sont également nécessaires. Bien que l'expertise technique soit disponible (voir chapitre 16), il n'existe souvent que peu ou pas de législation relative aux normes de qualité pour ces produits, ce qui crée des incertitudes susceptibles de décourager les investissements. Les marchés de ces produits pourraient être stimulés par des incitations financières ou juridiques (par exemple l'obligation de mélanger les phosphates récupérés dans les engrais artificiels). L'application de critères de qualité au produit final, plutôt qu'aux intrants, pourrait également aider à promouvoir l'acceptation sur le marché de matériaux de haute qualité obtenus à partir des eaux usées municipales et stimuler davantage le recyclage des nutriments et d'autres sous-produits des eaux usées comme une composante essentielle de l'économie circulaire.

La gestion des eaux usées, et la protection des ressources en eau qui en résulte, constituent un domaine où la capacité des sociétés à agir pour

le bénéfice de ceux qui n'ont pas leur propre voix politique, à savoir les personnes vulnérables, les générations à venir et les écosystèmes, est constamment contestée. Lorsque la mise en application de normes et de permis est requise, l'impartialité des autorités publiques est essentielle. En effet, la transparence et la participation du public à l'élaboration des politiques constituent potentiellement des moyens de garantir des solutions raisonnables, acceptables et durables. Une vision commune et un accord généralisé sur les objectifs de la gestion des eaux usées constituent le meilleur garant de la réussite de leur mise en œuvre.

### 18.3 Opportunités de financement

La gestion des eaux usées et l'assainissement sont généralement considérés comme coûteux et à haute intensité de capital (voir section 3.3). C'est particulièrement le cas des grands systèmes centralisés, qui exigent un degré élevé de dépense initiale en capital. Une fois qu'ils sont mis en place, il est rare que ces systèmes génèrent des revenus importants. Ils sont donc incapables de couvrir leurs propres coûts d'exploitation et d'entretien à moyen et long terme, ce qui entraîne leur détérioration rapide. Par conséquent, il n'est pas surprenant que l'investissement dans la gestion des eaux usées et la qualité de l'eau ne constitue pas une priorité politique dans de nombreux pays développés et en développement. Ce problème est davantage exacerbé par un manque chronique d'investissements dans le développement des institutions et des capacités humaines (voir chapitre 17). Il est essentiel de coordonner les investissements et le financement afin d'améliorer le rendement global des systèmes de gestion des eaux usées (OMS, 2015). Une approche de financement axée sur les résultats peut également aider à promouvoir une conception optimale de ces systèmes, ainsi que leur mise en œuvre et exploitation efficaces (CME/OCDE, 2015).

Les systèmes décentralisés de traitement des eaux usées (DEWATS) peuvent être utilisés pour compenser certains problèmes financiers générés par les systèmes centralisés (voir section 15.4). Ces systèmes sont plus souvent utilisés au sein des petites communautés qui traitent de faibles volumes d'eaux usées, et fréquemment avec des technologies à faible coût (par exemple les étangs de stabilisation, les filtres anaérobies et les zones humides artificielles). Lorsque ces technologies sont convenablement conçues et mises en œuvre, elles peuvent fournir des résultats satisfaisants en ce qui concerne la qualité des effluents. Toutefois, même si les investissements initiaux dans ces technologies sont faibles, ils exigent encore un niveau approprié d'exploitation et d'entretien afin d'éviter toute défaillance du système. Par conséquent, les ressources

financières et les investissements dans les capacités humaines doivent être examinés au début de la phase de conception afin d'assurer le bon fonctionnement des systèmes décentralisés sur le long terme.

Afin d'optimiser les avantages nets des systèmes de traitement des eaux usées, il est également important d'examiner leurs coûts et avantages au plan social, environnemental et financier, au niveau local et en aval, et de comparer ces résultats à la meilleure solution de rechange, et notamment au coût de l'inaction à plus long terme. En effet, les données disponibles indiquent pour l'essentiel que les coûts de l'insuffisance d'investissements dans la gestion des eaux usées sont beaucoup plus importants que les sommes réellement dépensées, surtout lorsqu'on tient compte des dommages directs et indirects pour la santé, le développement socio-économique et l'environnement (voir la section 13.5) (ONU-Eau, 2015a).

L'utilisation des eaux usées peut apporter une nouvelle source de revenus pour le traitement des eaux usées, en particulier dans un contexte de manque d'eau chronique ou récurrent. Plusieurs modèles d'affaires différents ont été mis en œuvre, dans lesquels l'amortissement du coût et de la valeur présente un avantage considérable du point de vue financier (voir la section 16.3). Toutefois, les revenus provenant de la commercialisation des eaux usées traitées ne sont généralement pas suffisants pour couvrir les frais de fonctionnement et d'entretien de l'installation de traitement de l'eau elle-même. Lorsque différentes entités sont responsables de différentes parties de la chaîne de services d'assainissement, il est nécessaire de mettre en place des mécanismes consensuels de partage des coûts, risques et bénéfices (par exemple les partenariats public-privé ou d'autres approches participatives) si la valeur créée par la réutilisation doit aider à entretenir la chaîne de services d'assainissement (Wichelns et al., 2015). Dans le contexte plus large de la gestion des ressources en eau, l'infrastructure d'approvisionnement en eau à usages multiples peut offrir des avantages supplémentaires pour un meilleur traitement des eaux usées, mais il est souvent plus difficile à financer que les projets à usage unique (CME/OCDE, 2015).

Même lorsqu'elle est amenée jusqu'au robinet, l'eau potable reste généralement sous-évaluée et sous-tarifée par rapport au coût réel du service. Les eaux usées traitées doivent, quant à elles, être moins coûteuses que l'eau potable, afin de favoriser leur acceptation par le public. Ici, la promotion de la réutilisation de l'eau passe avant la récupération des coûts. Or, même dans les situations où les revenus générés par l'utilisation des eaux usées n'arrivent pas à couvrir leurs coûts supplémentaires, les investissements dans la réutilisation de l'eau se comparent généralement bien aux coûts des barrages, du dessalement, des transferts entre bassins et d'autres solutions permettant d'accroître l'approvisionnement en eau (Wichelns et al., 2015).

La récupération de nutriments (surtout du phosphore et de l'azote) et d'énergie peut apporter une valeur ajoutée considérable et améliorer la proposition d'amortissement des coûts. Au cours des dernières années plusieurs innovations technologiques sont apparues, qui permettent d'augmenter l'efficacité dans la récupération des nutriments et de l'énergie (voir section 16.2). Des études sur la récupération de ressources multiples montrent qu'il devient possible d'obtenir des avantages financiers plus importants lorsque la trajectoire de réutilisation des ressources s'étend non seulement à l'énergie, mais cible aussi les crédits carbone (Hanjra et al., 2015b). Le biogaz récupéré a été utilisé avec succès comme source d'énergie pour l'usine de traitement elle-même, dans la la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) et même comme carburant de transport (WWAP, 2014). La réintroduction du phosphore et de l'azote récupérés comme engrais pourrait faire chuter le prix de ces produits et contribuer à la réduction générale des coûts de l'alimentation (Sengupta et al., 2015). Il existe aujourd'hui des méthodes permettant de récupérer du phosphore des eaux usées et de transformer les boues de fosses septiques en engrais granulé à faible coût (Hanjra et al., 2015a). Par ailleurs, la récupération contrôlée du phosphore, ressource non renouvelable indispensable comme engrais dans l'agriculture moderne, peut être plus avantageuse du point de vue financier que le traitement chimique nécessaire pour éliminer la précipitation indésirable du phosphore au niveau de l'usine de traitement. La récupération du phosphore est susceptible de devenir encore plus concurrentielle en raison de la hausse du coût d'extraction du phosphate naturel (Wichelns phosphate et al., 2015). Outre les avantages économiques tangibles, l'amélioration de la récupération de l'azote réduirait également la charge d'azote dans l'atmosphère (Sengupta et al., 2015). Des technologies innovantes pour la récupération d'autres matières utiles émergent, bien qu'elles en soient encore aux premiers stades de développement. C'est le cas de la récupération des métaux via les processus bioélectrochimiques (Wang et Ren, 2014).

En résumé, le financement du traitement et de l'utilisation des eaux usées devient de plus en plus favorable lorsque les coûts de traitement sont bas et que la proposition de valeur va au-delà de la récupération de l'eau à partir des eaux usées pour inclure la récupération de nutriments, d'énergie et d'autres sous-produits utiles. À la lumière de ces synergies potentielles dans l'ensemble du cycle de gestion des eaux usées, il a été démontré que les partenariats public-privé, fondés sur l'amortissement des coûts dans l'intégralité du cycle de gestion des eaux usées, peuvent aider à stimuler et même à cofinancer l'assainissement/le traitement des eaux usées, tout en encourageant dans le même temps, l'émergence des petites et moyennes entreprises (Murray et al., 2011). La disponibilité des utilisateurs finaux qui peuvent



absorber cette offre de produits et ont la volonté et la capacité de payer pour cette offre (c'est-à-dire le marché) représente la condition essentielle de la mise en œuvre de tout plan de réutilisation de l'eau et de récupération de sous-produits (Rao et al., 2015).

## 18.4 Amélioration des connaissances et renforcement des capacités

Des données et des informations sur la production, le traitement et l'utilisation des eaux usées sont essentielles pour les décideurs, les chercheurs, les praticiens et les institutions publiques, dans l'optique d'élaborer de plans d'action nationaux et locaux visant la protection de l'environnement et l'utilisation sans risque et productive des eaux usées. Toutefois, il y a un manque généralisé de données sur presque tous les aspects de la qualité de l'eau et de la gestion des eaux usées, en particulier dans les pays en développement (ONU-Eau, 2015a). Lorsqu'elles sont disponibles, les données nationales sur la production, le traitement et l'utilisation des eaux usées sont souvent incomplètes ou obsolètes (Sato et al., 2013), ce qui rend difficiles, voire impossibles, les comparaisons directes entre les pays (voir section 4.4). La surveillance requise pour mesurer le progrès vers la réalisation de la cible 6.3 des ODD est susceptible de générer des progrès dans le suivi et l'élaboration de rapports au niveau national (voir chapitre 2).

Les connaissances concernant les volumes et, peut-être même plus important encore, les constituants des eaux usées sont des outils nécessaires pour protéger la santé et la sécurité humaines et environnementales. Dans ce domaine également, il reste beaucoup d'aspects à améliorer au niveau des bassins et au niveau local afin d'assurer le suivi de l'efficacité des systèmes de réglementation et de soutenir l'application des lois environnementales.

Pour améliorer la gestion des eaux usées, il est également essentiel de s'assurer que les niveaux appropriés de capacités humaines sont en place (voir chapitre 17). Par conséquent, le développement professionnel continu à tous les niveaux est nécessaire pour être en phase avec l'évolution constante de la technologie et des besoins de la société. Un personnel dûment qualifié est toujours nécessaire, que l'on soit en présence d'un système centralisé de traitement des eaux usées à grande échelle ou de systèmes sur place de taille plus modeste. Par exemple, l'exploitation et l'entretien de nombreux systèmes sur place sont généralement laissés à la charge des seuls propriétaires ou autorités locales, ce qui débouche sur une défaillance du système en raison de l'absence d'entretien ou de sa mauvaise qualité (ONU-Eau, 2015a). Selon l'Association internationale de l'eau, « de nombreuses économies en développement font face à un manque criant

de professionnels de l'eau, et ne disposent pas des connaissances, de l'expérience et des compétences spécialisées pour répondre à la demande croissante de services d'eau et d'assainissement » (IWA, 2014, p. 3). L'investissement dans la formation appropriée fait également la différence entre de bonnes politiques de réglementation et un contrôle effectif de la qualité de l'eau, avec les avantages qui en découlent (ONU-Eau, 2015b). Comme l'indique le Rapport des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016, « des relations cruciales et des liens essentiels existent entre la gestion de l'eau (dans son sens le plus large) et les opportunités d'emplois dans les pays à tout stade de développement. L'eau joue un rôle clé pour produire et conserver des opportunités d'emplois directs dans de nombreux secteurs et pour libérer le potentiel de création d'emplois indirects grâce à son effet multiplicateur ». (WWAP, 2016, p. 126).

Les capacités organisationnelles et institutionnelles du secteur de la gestion des eaux usées sont également inadéquates, en particulier dans les pays en développement. Étant donné que la gestion des eaux usées manque souvent de « foyer institutionnel », les défis associés à l'alignement des intérêts divergents et l'accroissement de la collaboration vers l'atteinte d'objectifs fondamentaux communs nécessitent de solides institutions efficaces et transparentes, capables à la fois de concevoir des lignes directrices et de faire appliquer la réglementation.

Enfin, la recherche et le développement sont nécessaires pour adapter les technologies innovantes aux contextes locaux, tant en ce qui concerne l'amélioration des systèmes de traitement des eaux usées à faible coût (y compris la séparation des flux de déchets en fonction du traitement souhaité et de l'usage prévu), qu'en ce qui concerne l'accroissement de l'efficacité dans l'utilisation des eaux usées traitées et de sous-produits récupérés (voir chapitre 17). De même, il devient de plus en plus important d'améliorer les processus de récupération des métaux lourds et des polluants émergents, qui nécessitent généralement des technologies à haute intensité de capital et des capacités élevées. Enfin, il est nécessaire de mener davantage de recherches sur les impacts et l'élimination éventuelle de polluants émergents tels que les microbilles (voir encadré 4.2) et de produits chimiques pharmaceutiques potentiellement dangereux tels que les perturbateurs endocriniens et les composés renforçant la résistance aux antimicrobiens.

## 18.5 Atténuation des risques pour la santé humaine et environnementale

Le rejet d'eaux usées non traitées peut avoir de graves répercussions sur la santé humaine et environnementale, y compris l'apparition de maladies d'origine alimentaire ou hydrique et de maladies

vectorielles, ainsi que la pollution et la perte de la diversité biologique et des services écosystémiques. Malheureusement, en dépit des efforts croissants déployés pour augmenter les niveaux de couverture et de traitement, une grande partie des eaux usées générées dans les villes et les zones rurales restera non traitée ou seulement partiellement traitée pendant de nombreuses années encore. En conséquence, l'utilisation en grande partie involontaire et informelle des eaux usées non traitées ou partiellement traitées pour l'irrigation et d'autres usages est susceptible de se poursuivre. La gestion des risques est donc indispensable pour renforcer la sécurité de l'utilisation des eaux usées.

La solution la plus appropriée pour la gestion des risques liés à l'utilisation des eaux usées dans un contexte donné sera fonction de l'utilisation finale prévue, de l'acceptation socioculturelle, et de facteurs économiques, institutionnels, biophysiques et technologiques (Balkema et al., 2002). Chaque fois que l'exposition humaine est considérée comme probable (par exemple par la nourriture ou par un contact direct), des mesures de gestion des risques plus strictes seront nécessaires. Par exemple, des mesures de gestion moins rigoureuses seraient observées dans les cas où les eaux usées sont utilisées pour l'irrigation de cultures non alimentaires, par rapport à l'arrosage des espaces verts dans les parcs publics ou les écoles, lieux où un contact direct avec les contaminants exposés est plus probable. Des mesures encore plus sévères sont nécessaires lorsque les eaux usées sont utilisées pour accroître l'alimentation en eau potable (Keraita et al., 2015).

Les Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture (voir la section 7.2.2) proposent une approche à barrières multiples dans laquelle le traitement des eaux usées est juste l'une des multiples solutions pour protéger la santé publique (OMS, 2006a). Lorsque des eaux usées non traitées sont utilisées pour l'irrigation de cultures comestibles, des barrières peuvent être placées sur des sources d'eaux usées, dans les exploitations agricoles, dans les marchés et au niveau du consommateur, offrant ainsi une protection à différents points le long de la chaîne de production.

## 18.6 Promotion de l'acceptation sociale

Même si les projets d'utilisation des eaux usées sont techniquement bien conçus, semblent financièrement réalisables et intègrent des mesures appropriées de protection de la santé, les plans de réutilisation de l'eau peuvent toujours échouer si les planificateurs ne tiennent pas suffisamment compte de la dynamique de l'acceptation sociale (voir les sections 3.4 et 16.6). L'acceptation générale de l'utilisation d'eaux usées (sans risque) varie avec les phases de développement

d'une société et peut être un processus dynamique, ce qui fait que les études de faisabilité sociale, une étroite participation des groupes d'utilisateurs, et le développement de la confiance, sont des facteurs essentiels de la réussite d'un programme d'utilisation des eaux usées (Drechsel et al., 2015b). Si les pénuries d'eau peuvent promouvoir une perception positive de l'utilisation des eaux usées, d'autres facteurs auront une incidence sur leur acceptation par le public, tels que la disponibilité d'autres sources d'approvisionnement en eau, les niveaux d'éducation, les perceptions des risques liés à la santé, les préoccupations religieuses et les moyens et messages utilisés dans le partage des connaissances et la communication. Il est particulièrement important de surmonter les perceptions négatives du public lorsqu'il est question d'eau potable (c'est-à-dire la réutilisation de l'eau rendue potable). Bien que ces systèmes présentent souvent des normes de qualité de l'eau supérieures à d'autres sources d'eau, de vastes campagnes d'information et de participation du public sont nécessaires pour renforcer la confiance dans le système et surmonter le soi-disant facteur « Beurk ».

Les risques pour la santé associés à la réutilisation de l'eau doivent être régulièrement évalués, gérés, contrôlés et signalés afin de promouvoir leur acceptation par le public et de maximiser les avantages de l'utilisation des eaux usées, tout en réduisant au minimum les impacts négatifs (ONU-Eau, 2015a). Dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, avec des capacités de traitement limitée, où les eaux usées non traitées ou partiellement traitées sont rejetées dans les masses d'eau puis prélevées et utilisées pour l'irrigation informelle, la difficulté culturelle et sociale à surmonter ne réside pas tant dans l'introduction de la réutilisation de l'eau, que dans la prévention de l'utilisation involontaire/à risque des eaux usées non traitées. Dans ces cas, un soutien est nécessaire pour une transition vers la réutilisation sans risque des eaux usées (Drechsel et al., 2015b).

## 18.7 Coda

Dans un monde où la demande en eau douce est en augmentation constante, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion des eaux usées.

# RÉFÉRENCES

- Aagaard-Hansen, J. and Chaignat, C. L. 2010. Neglected tropical diseases: Equity and social determinants. E. Blas and A. S. Kurup (eds). *Equity, Social Determinants and Public Health Programmes*. Genève, Suisse, Organisation mondiale de la santé (OMS).
- Abiye, T. A., Sulieman, H. and Ayalew, M. 2009. Use of treated wastewater for managed aquifer recharge in highly populated urban centers: A case study in Addis Ababa, Ethiopia. *Environmental Geology*, Vol. 58, No. 1, pp. 55–59. Doi: 10.1007/s00254-008-1490-y
- AEE (Agence européenne pour l'environnement). 2013. Traitement des eaux urbaines résiduaires. Site Internet de l'AEE. [www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-3](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-3)
- \_\_\_\_\_. 2016. SOER 2015 – The European Environment – State and Outlook 2015. Copenhagen, EEA. [www.eea.europa.eu/soer](http://www.eea.europa.eu/soer)
- \_\_\_\_\_. s.d. Registre européen des rejets et des transferts de polluants. [prtr.ec.europa.eu/#/home](http://prtr.ec.europa.eu/#/home)
- AEI (Agence internationale de l'énergie). 2014. World Energy Outlook 2014. Paris, IEA. dx.doi.org/10.1787/weo-2014-en
- AGNU (Assemblée générale des Nations Unies). 2010. Résolution 64/292. Droit humain à l'eau et à l'assainissement. New York, AGNU.
- \_\_\_\_\_. 2014. Rapport du Rapporteur spécial sur le droit humain à l'eau potable et l'assainissement, Catarina de Albuquerque. Vingt-septième session du Conseil des droits de l'homme. AGNU A/HRC/27/55. [documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N13/418/25/PDF/N1341825.pdf?OpenElement](http://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N13/418/25/PDF/N1341825.pdf?OpenElement)
- \_\_\_\_\_. 2015a. Transformer notre monde : Le Programme de développement durable à l'horizon l'horizon 2030. Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015. A/70/L.1. New York, AGNU. [www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)
- \_\_\_\_\_. 2015b. Promotion et protection des droits de l'homme: Questions relatives aux droits de l'homme, y compris les divers moyens de mieux assurer l'exercice effectif des droits de l'homme et des libertés fondamentales. Soixante-dixième session de la Troisième Commission. A/C.3/70/L.55/Rev.1 2015. AGNU.
- Ajiboye, A. J., Olaniyi, A. O. and Adegbite, B. A. 2012. A review of the challenges of sustainable water resources management in Nigeria. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 1–9.
- Akcil, A. and Koldas, S. 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, No. 12–13, pp. 1139–1145. dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006
- AKDN (Aga Khan Development Network). s.d. Aga Khan Award for Architecture, Wadi Hanifa Wetlands. AKDN website. [www.akdn.org/architecture/project.asp?id=2258](http://www.akdn.org/architecture/project.asp?id=2258)
- Alcott, B. 2005. Jevon's Paradox. *Ecological Economics*, Volume 54, No. 1, pp. 9–21.
- Ammerman, A. J. 1990. On the origins of the Forum Romanum. *American Journal of Archaeology*, Vol. 94, No. 4, pp. 627–645.
- Amoah, P., Keraita, B., Akple, M., Drechsel, P., Abaidoo, R. C. and Konradsen, F. 2011. Low-cost Options for Reducing Consumer Health Risks from Farm to Fork where Crops are Irrigated with Polluted Water in West Africa. IWMI Research Report No. 141. Colombo, International Water Management Institute (IWMI). [www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/PUB141/RR141.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB141/RR141.pdf)
- AMWC (Arab Ministerial Water Council). 2011. Arab Strategy for Water Security in the Arab Region to Meet the Challenges and Future Needs for Sustainable Development 2010-2030. Le Caire, AMWC. [www.accwam.org/Files/Arab\\_Strategy\\_for\\_Water\\_Security\\_in\\_the\\_Arab\\_Region\\_to\\_meet\\_the\\_Challenges\\_and\\_Future\\_Needs\\_for\\_Sustainable\\_Development\\_-\\_2010-2030.pdf](http://www.accwam.org/Files/Arab_Strategy_for_Water_Security_in_the_Arab_Region_to_meet_the_Challenges_and_Future_Needs_for_Sustainable_Development_-_2010-2030.pdf)
- Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C. 2016. Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: From Waste Disposal to Resource Recovery. Nairobi/Stockholm, Programme des Nations Unies pour l'environnement/ Stockholm Environment Institute (UNEP/SEI). [www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/NEW/SEI-UNEP-2016-SanWWM&Sustainability.pdf](http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/NEW/SEI-UNEP-2016-SanWWM&Sustainability.pdf)
- AQUASTAT. 2014. Area Equipped for Irrigation. Infographic. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). [www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation_eng.pdf)

- \_\_\_\_\_. 2016. Water Withdrawal by Sector, around 2010. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). [www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d.a. Eaux usées municipales. Base de données AQUASTAT. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/wastewater/indexfra.stm>
- \_\_\_\_\_. s.d.b. Base de données AQUASTAT. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexfra.stm>
- Armitage, N., Vice, M., Fisher-Jeffes, L., Winter, K., Spiegel, A. and Dunstan, J. 2013. Alternative Technology for Stormwater Management: The South African Guidelines for Sustainable Drainage Systems. WRC Report no. TT 558/13. Pretoria/Cape Town, Water Research Commission (WRC)/University of Cape Town. [www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT%20558-13.pdf](http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT%20558-13.pdf)
- Asano, T. and Levine, A. D. 1998. Wastewater Reclamation, Recycling, and Reuse: An Introduction. T. Asano (ed.), Wastewater Reclamation and Reuse. CRC Press.
- Asano, T., Maeda, M., and Takaki, M. 1996. Wastewater reclamation and reuse in Japan: Overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, Vol. 34, No. 11, pp. 219–226.
- ATSE (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering). 2013. Drinking Water through Recycling: The Benefits and Costs of Supplying Direct to the Distribution System. Melbourne, Australie, ATSE. [www.atse.org.au/Documents/reports/drinking-water-through-recycling-full-report.pdf](http://www.atse.org.au/Documents/reports/drinking-water-through-recycling-full-report.pdf)
- Badr, F.** 2016. Assessment of Wastewater Services and Sludge in Egypt. Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ). [www.cairoclimatetalks.net/sites/default/files/assessment%20of%20wastewater%20services%20in%20Egypt1%20\(1\).pdf](http://www.cairoclimatetalks.net/sites/default/files/assessment%20of%20wastewater%20services%20in%20Egypt1%20(1).pdf)
- Bahri, A., Drechsel, P. and Brissaud, F. 2008. Water Reuse in Africa: Challenges and Opportunities. Paper presented at the First African Water Week: Accelerating Water Security for Socio-Economic Development of Africa, Tunis, 26–28 March 2008. [publications.iwmi.org/pdf/H041872.pdf](http://publications.iwmi.org/pdf/H041872.pdf)
- Balkema, J. A., Preisig, H. A., Otterpohl, R. and Lambert, F. J. D. 2002. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, Vol. 4, pp. 153–161.
- Ballesterio, M., Arroyo, V. and Mejía, A. 2015. Documento Temático: Agua Potable y Saneamiento para Todos [Technical Document: Drinking Water and Sanitation for All]. VII World Water Forum Regional Process. (En espagnol)
- Banque mondiale. 2012. *The Future of Water in African Cities: Why Waste Water?* Washington, DC, Banque mondiale.
- \_\_\_\_\_. s.d. Indicateurs du développement dans le monde. Site Internet de la Banque mondiale. [www.data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators](http://www.data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators)
- Bartone, C. R., Bernstein, J., Leitmann, J. and Eigen, J. 1994. Toward Environmental Strategies for Cities: Policy Considerations for Urban Environmental Management in Developing Countries. Urban Management Programme Policy Paper No. 18. Washington, DC, Banque mondiale. [documents.worldbank.org/curated/en/826481468739496129/pdf/multi-page.pdf](http://documents.worldbank.org/curated/en/826481468739496129/pdf/multi-page.pdf)
- BAD (Banque asiatique de développement) 2013. Asian Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and the Pacific. Mandaluyong, Philippines, ADB. [www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2013](http://www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2013)
- Bauer, H. 1993. Cloaca Maxima. E. M. Steinby (ed.), *Lexicon Topographicum Urbis Romae*. Rome, Quasar, pp. 288–290.
- Bernhardt, B. and Massard-Guibaud, G. (eds). 2002. *Le démon moderne. La pollution dans les sociétés urbaines et industrielles d'Europe*. Clermont-Ferrand, France, Presses universitaires Blaise Pascal. Support Livre broché.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). s.d. TC Lebanon: Protection of Jeita Spring. BGR website. [www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Libanon/jeita\\_fb\\_en.html](http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/TZ/Libanon/jeita_fb_en.html)
- Bianchi, E. E. 2014. *La Cloaca Maxima e i Sistemi Fognari di Roma dall'Antichità ad Oggi* [The Cloaca Maxima and Rome's Sewerage Systems from Antiquity to Today]. Rome, Palombi Editore. (En italien)
- Biggs, C., Ryan, C., Wiseman, J. and Larsen, K. 2009. Distributed Water Systems: A Networked and Localized Approach for Sustainable Water Services – Business Intelligence and Policy Instruments. Melbourne, Australia, Victorian Eco-innovation Lab (VEIL), University of Melbourne. [www.ecoinnovationlab.com/wp-content/attachments/234\\_Distributed-Water-Systems.VEIL\\_.pdf](http://www.ecoinnovationlab.com/wp-content/attachments/234_Distributed-Water-Systems.VEIL_.pdf)



- Blue Tech Research. s.d. Turning Whey from Dairy Wastewater into Alcohol and Revenue. Cork, Ireland, Blue Tech Research. [www.bluetechresearch.com/news/turning-whey-from-dairy-wastewater-into-alcohol-and-revenue/](http://www.bluetechresearch.com/news/turning-whey-from-dairy-wastewater-into-alcohol-and-revenue/).
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. M. R. and Matsuura, T. 2009. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, Vol. 239, No. 1 – 3, pp. 229–246.
- Boufaroua, M., Albalawneh, A. and Oweis, T. 2013. Assessing the efficiency of grey-water reuse at household level and its suitability for sustainable rural and human development. *British Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 962–972.
- Brdjanovic, D. (ed.). 2015. *Innovations for Water and Development*. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE. [www.unesco-ihe.org/sites/default/files/unesco-ihe\\_innovations\\_e\\_vs050315.pdf](http://www.unesco-ihe.org/sites/default/files/unesco-ihe_innovations_e_vs050315.pdf)
- Cairns-Smith, S., Hill, H. and Nazarenko, E. E. 2014. Urban Sanitation: Why a Portfolio of Solutions is Needed. Working Paper. The Boston Consulting Group. [www.bcg.com/documents/file178928.pdf](http://www.bcg.com/documents/file178928.pdf)
- Cakir, F. Y. and Stenstrom, M. M. K. 2005. Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research*, Vol. 39, No. 17, pp. 4197–4203. [dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.042](https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.042)
- California Department of Water Resources. 2013. *Resource Management Strategies*, Vol. III of California Water Plan Update 2013. Sacramento, Calif., California Department of Water Resources. [demoware.eu/en/demo-sites/tarragona](http://demoware.eu/en/demo-sites/tarragona)
- CE (Commission européenne). 2016a. CSI Guidance on Integrating Water Reuse in Water Planning Management. Meeting of the Strategic Co-ordination Group, 2–3 May 2016. Bruxelles, CE.
- \_\_\_\_\_. 2016b. Huitième rapport sur l'état de mise en œuvre et les programmes de mise en œuvre de la directive 91/271/CEE du Conseil relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Bruxelles, CE. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/FR/1-2016-105-FR-F1-1.PDF>
- CEE-ONU (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe). 1992. Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux. Helsinki, 17 mars 1992. [www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2013. Guide to Implementing the Water Convention. New York/Genève, Organisation des Nations Unies. [www.unece.org/env/water/publications/ece\\_mp\\_wat\\_39.html](http://www.unece.org/env/water/publications/ece_mp_wat_39.html).
- CEE-ONU/OCDE (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe/Organisation de coopération et de développement économiques). 2014. Integrated Water Resources Management in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. European Union Water Initiative National Policy Dialogues Progress Report 2013. New York/Genève, Organisation des Nations Unies. [www.unece.org/index.php?id=35306](http://www.unece.org/index.php?id=35306)
- CEE-ONU/OMS (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe/Organisation mondiale de la santé). 1999. Protocol on Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Genève, CEE/OMS. [www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2000/wat/mp.wat.2000.1.e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2000/wat/mp.wat.2000.1.e.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2013. The Equitable Access Score-card: Supporting Policy Processes to Achieve the Human Right to Water and Sanitation. Genève, CEE/OMS.
- \_\_\_\_\_. 2016. A Healthy Link: The Protocol on Water and Health and the Sustainable Development Goal. [www.unece.org/index.php?id=44282&L=0](http://www.unece.org/index.php?id=44282&L=0)
- CESAO (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie occidentale). 2013. *ESCWA Water Development Report 5: Issues in Sustainable Water Resources Management and Water Services in the Arab Region*. New York, Organisation des Nations Unies. [www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-5-issues-sustainable-water-resources-management-and](http://www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-5-issues-sustainable-water-resources-management-and)
- \_\_\_\_\_. 2015. *ESCWA Water Development Report 6: The Water, Energy, Food Security Nexus in the Arab Region*. Beyrouth, Organisation des Nations Unies. [www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-6-water-energy-and-food-security-nexus-arab-region](http://www.unescwa.org/publications/escwa-water-development-report-6-water-energy-and-food-security-nexus-arab-region)
- CESAP (Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique). 2010. *Statistical Yearbook 2009*. Bangkok, CESAP.
- \_\_\_\_\_. 2013. Development Financing for Tangible Results: A Paradigm Shift to Impact Investing and Outcome Models – The Case of Sanitation in Asia. Discussion Paper. Bangkok, CESAP. [www.unescap.org/resources/development-financing-tangible-results-paradigm-shift-impact-investing-and-outcome-models](http://www.unescap.org/resources/development-financing-tangible-results-paradigm-shift-impact-investing-and-outcome-models)
- \_\_\_\_\_. 2014. *Annuaire statistique pour l'Asie et le Pacifique 2014*. Bangkok, CESAP. [www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2014](http://www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2014)

- \_\_\_\_\_. 2015a. Eco-Efficient Infrastructure Development towards Green and Resilient Urban Future. Brochure. [www.unescap.org/resources/brochure-eco-efficient-infrastructure-development-towards-green-and-resilient-urban-future](http://www.unescap.org/resources/brochure-eco-efficient-infrastructure-development-towards-green-and-resilient-urban-future)
- \_\_\_\_\_. 2015b. Annuaire statistique pour l'Asie et le Pacifique 2015. Bangkok, CESAP. [www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2015](http://www.unescap.org/resources/statistical-yearbook-asia-and-pacific-2015)
- CESAP/ONU-Habitat (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique/Programme des Nations Unies pour les établissements humains). 2015. L'état des villes d'Asie-Pacifique 2015 : Transformation urbaine, de la quantité à la qualité. CESAP/ONU-Habitat.
- CESAP/ONU-Habitat/AIT (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/Asian Institute of Technology). 2015. Policy Guidance Manual on Wastewater Management with a Special Emphasis on Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS). Organisation des Nations Unies/AIT. [www.unescap.org/resources/policy-guidance-manual-wastewater-management](http://www.unescap.org/resources/policy-guidance-manual-wastewater-management)
- Cho, R. 2011. From Wastewater to Drinking Water. State of the Planet, News of the Earth Institute. New York, Earth Institute, Columbia University. [blogs.ei.columbia.edu/2011/04/04/from-wastewater-to-drinking-water/](http://blogs.ei.columbia.edu/2011/04/04/from-wastewater-to-drinking-water/)
- CME/OCDE (Conseil mondial de l'eau/Organisation de coopération et de développement économiques). 2015. Water: Fit to Finance? Catalyzing national growth through investment in water security. Report of the High-Level Panel on Financing Infrastructure for a Water-Secure World. Marseille/Paris, France, CME/OCDE.
- CNUED (Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement). 1992. Agenda Agenda 21. New York, Organisation des Nations Unies. [sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf](http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf)
- Commission du Mékong. 1995. Accord de coopération pour le développement durable du bassin du Mékong. Phnom Penh, Commission du Mékong. [www.mrcmekong.org/assets/Publications/policies/agreement-Apr95.pdf](http://www.mrcmekong.org/assets/Publications/policies/agreement-Apr95.pdf)
- Cooper, P. F. 2001. Historical aspects of wastewater treatment. P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga (eds), Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation. Integrated Environmental Technology Series. London, IWA Publishing.
- Copeland C. 2015. Microbeads: An Emerging Water Quality Issue. CSR Insights. [www.fas.org/sgp/crs/misc/IN10319.pdf](http://www.fas.org/sgp/crs/misc/IN10319.pdf)
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. « L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable » (en anglais) Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/GRID-Arendal (PNU/ONU-Habitat). [www.unep.org/pdf/SickWater\\_screen.pdf](http://www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf)
- CPCT (Cleaner Production Centre of Tanzania). s.d. Nyanza Bottling Company Limited. Resource Efficient and Cleaner Production (RECP) – Case Studies. Mwanza, Tanzania, CPCT. [cpct.or.tz/selected%20photo/Beverage%20Industries.pdf](http://cpct.or.tz/selected%20photo/Beverage%20Industries.pdf)
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture, Vol. 356–357, pp. 351–356.
- Craggs, R. J., Lundquist, T. J. and Benemann, J. R. 2013. Wastewater treatment and algal biofuel production. M. A. Borowitzka and N. R. Moheimani (eds), Algae for Biofuels and Energy, Vol. V of Developments in Applied Phycology, pp. 153–163. Springer Netherlands. Doi: 10.1007/978-94-007-5479-9
- CRew (Fonds Régional Caraïbéen pour la gestion des eaux usées). s.d. Site Internet du CREW. [www.gefcrew.org/](http://www.gefcrew.org/)
- Culp G. L. and Culp, R. L. 1971. Advanced Wastewater Treatment. New York, Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series.
- DAES (Département des affaires économiques et sociales). 2004. Catalyzing Change: A Handbook for Developing Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Strategies. Treizième session de la Commission sur le développement durable. Note d'information n° 5. Soumis par le Comité technique du Partenariat mondial de l'eau (GWP). DESA/DSD/2005/5.
- \_\_\_\_\_. 2014. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. New York, Organisation des Nations Unies. [www.un.org/en/development/desa/publications/2014-revision-world-urbanization-prospects.html](http://www.un.org/en/development/desa/publications/2014-revision-world-urbanization-prospects.html)

- Daigger, G. T. 2011. Changing paradigms: From wastewater treatment to resource recovery. Proceedings of the Water Environment Federation, Energy and Water 2011, Vol. 16, pp. 942-957.
- Daniels, M. 2015. Innovative Wastewater Financing Mechanism – Why CReW is not only about Constructing Wastewater Treatment Plants (Important Considerations for Replication). Georgetown, Guyana Wastewater Revolving Fund. [www.aidis.org.br/PDF/cwwa2015/CWWA%202015%20Paper%20Submission%20-%20Marlon%20Daniels%20-%20Innovative%20Financing%20Mechanisms%20-%20Why%20CReW%20is%20not%20only%20about%20Wastewater%20Treatment%20Plants.pdf](http://www.aidis.org.br/PDF/cwwa2015/CWWA%202015%20Paper%20Submission%20-%20Marlon%20Daniels%20-%20Innovative%20Financing%20Mechanisms%20-%20Why%20CReW%20is%20not%20only%20about%20Wastewater%20Treatment%20Plants.pdf)
- De Groot, R. S., Stuip, M. A. M., Finlayson, C. M. and Davidson, N. N. 2006. Évaluation des zones humides : Orientations sur la valorisation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides. Rapport technique Ramsar n° 3/Série de rapports techniques de la CBD n° n° 27. Gland, Suisse, Secrétariat de la Convention de Ramsar et Montréal, PQ, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. [www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-27.pdf](http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-27.pdf)
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2016. Microbead Ban Announced to Protect Sealife. Government of the United Kingdom. [www.gov.uk/government/news/microbead-ban-announced-to-protect-sealife](http://www.gov.uk/government/news/microbead-ban-announced-to-protect-sealife)
- DEMOWARE (Innovation Demonstration for a Competitive and Innovative European Water Reuse Sector). 2016. Market Analysis of Key Water Reuse Technologies. Report D4.1. [demoware.eu/en/results/deliverables/deliverable-d4-1-market-analysis-of-key-water-reuse-technologies.pdf](http://demoware.eu/en/results/deliverables/deliverable-d4-1-market-analysis-of-key-water-reuse-technologies.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d. Tarragona. DEMOWARE website. [demoware.eu/en/demo-sites/tarragona](http://demoware.eu/en/demo-sites/tarragona)
- Despommier, D. 2011. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century. London, McMillan.
- Difaf, H. H. 2016. Cost-effective Treatment of Wastewater in Remote Areas for Potential Reuse to Cope with Climate Change Impacts and Water Scarcity. Presentation held during the UNESCWA and ACWUA Workshop on Developing the Capacities of the Human Settlements Sector for Climate Change Adaptation Using Integrated Water Resources Management (IWRM) Tools, Amman, 21–23 May 2016. [www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/07-difaf\\_lenanon.pdf](http://www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/07-difaf_lenanon.pdf)
- Dillon, P. J., Escalante, F. E. and Tuinhof, A. 2012. Management of Aquifer Recharge and Discharge Processes and Aquifer Storage Equilibrium. GEF–FAO Groundwater Governance Thematic Paper 4. Canberra, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).
- Domenech, T. and Davies, M. 2011. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 10, pp. 79–89.
- Doorn, M. R. J., Strait, R., Barnard, W. and Eklund, B. 1997. Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (US EPA). [cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_Report.cfm?dirEntryID=115121](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryID=115121)
- Doorn, M. R. J., Towprayoon, S., Manso Vieira, S. M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R. and Wang, C. 2006. Wastewater Treatment and Discharge. GIEC. Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Hayama, Japon, Global Environmental Strategies (IGES). [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)
- Drechsel, P. and Evans, A. E. V. 2010. Wastewater use in irrigated agriculture. *Irrigated and Drainage Systems*, Vol. 24, No. 1, pp. 1–3. Doi: 10.1007/s10795-010-9095-5
- Drechsel, P. and Karg, H. 2013. Motivating behaviour change for safe wastewater irrigation in urban and peri-urban Ghana. *Sustainable Sanitation Practice*, Vol. 16, pp. 10–20. [www.ecosan.at/ssp/issue-16-behaviour-change/SSP-16\\_Jul2013\\_10-20.pdf/view](http://www.ecosan.at/ssp/issue-16-behaviour-change/SSP-16_Jul2013_10-20.pdf/view)
- Drechsel, P., Hope, L. and Cofie, O. O. 2013. Gender mainstreaming: Who wins? Gender and irrigated urban vegetable production in West Africa. *Journal of Gender and Water (wH2O)*, Vol. 2, No. 1, pp. 15–17.
- Drechsel, P., Qadir, M. M. and Wichelns, D. (eds). 2015a. *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Drechsel, P., Mahjoub, O. and Keraita, B. 2015b. Social and cultural dimensions in wastewater use. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M. M. and Bahri, A. (eds). 2010. *Wastewater, Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. Colombo, International Water Management Institute (IWMI), London, Earthscan and Ottawa, International Development Research Centre (IDRC). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/36471>

DSNU (Division de statistique des Nations Unies). 2012. SEEA-Eau : Système de comptabilité économique et environnementale de l'eau. New York, DSNU. [unstats.un.org/unsd/publication/seriesf/Seriesf\\_100f.pdf](http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesf/Seriesf_100f.pdf)

\_\_\_\_\_. s.d. Questionnaire Questionnaire 2013 sur les statistiques de l'environnement. Site Internet de la DSNU. DSNU/PNU. [unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/q2013Water\\_French.pdf](http://unstats.un.org/unsd/environment/Questionnaires/q2013Water_French.pdf)

Ebiare, E. and Zejiao, L. L. 2010. Water quality monitoring in Nigeria: Case study of Nigeria's industrial cities. *Journal of American Science*, Vol. 6, No. 4, pp. 22–28.

Ekane, N., Kjellén, M., Noel, S. and Fogde, M. M. 2012. Sanitation and Hygiene Policy: Stated Beliefs and Actual Practice – A Case Study in the Burera District, Rwanda. Working paper 2012-07. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI).

Ekane, N., Nykvist, B., Kjellén, M., Noel, S. and Weitz, N. N. 2014. Multi-level Sanitation Governance: Understanding and Overcoming Challenges in the Sanitation Sector in Sub-Saharan Africa. Working paper 2014-04. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). Doi: 10.3362/2046-1887.2014.024

Environment Agency. 2009. Discharges of Consented Red List Substances National Dataset User Guide. Version 2.0.0. 1st January, 2009. Bristol, United Kingdom, Environment Agency. [www.findmaps.co.uk/assets/pdf/Discharges\\_of\\_Consented\\_Redlist\\_Substances\\_User\\_Guide\\_v2.0.0.pdf](http://www.findmaps.co.uk/assets/pdf/Discharges_of_Consented_Redlist_Substances_User_Guide_v2.0.0.pdf)

EPA Victoria (Environment Protection Authority Victoria). 2002. Guidelines for Environmental Management: Disinfection of Treated Wastewater. Victoria, Australia, EPA Victoria. [www.epa.vic.gov.au/our-work/publications/publication/2002/september/730](http://www.epa.vic.gov.au/our-work/publications/publication/2002/september/730)

Eurostat. 2014. Data Collection Manual for the OECD/Eurostat Joint Questionnaire on Inland Waters: Concepts, Definitions, Current Practices, Evaluations and Recommendations. Version Version 3.0. Luxembourg, Eurostat. [ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6664269/Data+Collection+Manual+for+the+OECD\\_Eurostat+Joint+Questionnaire+on+Inland+Waters+%28version+3.0%2C+2014%29.pdf/f5f60d49-e88c-4e3c-bc23-c1ec26a01b2a](http://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6664269/Data+Collection+Manual+for+the+OECD_Eurostat+Joint+Questionnaire+on+Inland+Waters+%28version+3.0%2C+2014%29.pdf/f5f60d49-e88c-4e3c-bc23-c1ec26a01b2a)

\_\_\_\_\_. s.d. Water use in Industry. Eurostat Statistics Explained. Luxembourg, Eurostat. [ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water\\_use\\_in\\_industry](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_use_in_industry)

Falconer, I. R. 2006. Are endocrine disrupting compounds a health risk in drinking water? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 3, No. 2, pp. 180–4.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1985. La qualité de l'eau en agriculture Bulletin FAO Irrigation et Drainage N° N° 29, Rév. 1 Rome, FAO.

\_\_\_\_\_. 1992. Traitement et utilisation des eaux usées en agriculture. Bulletin FAO Irrigation et Drainage N° N° 47 Rome, FAO. [www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm](http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm)

\_\_\_\_\_. 1997. Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production. Eater Reports No. 10. Rome, FAO. [www.fao.org/docrep/w5367e/w5367e00.htm](http://www.fao.org/docrep/w5367e/w5367e00.htm)

\_\_\_\_\_. 2002. Agriculture mondiale : horizon 2015/2030 Rapport abrégé Rome, FAO. [www.fao.org/docrep/Y3557E/Y3557E00.HTM](http://www.fao.org/docrep/Y3557E/Y3557E00.HTM)

\_\_\_\_\_. 2005. Pollution causée par l'élevage industriel. Livestock Policy Brief No. 2. Rome, FAO. (En anglais) [www.fao.org/3/a-a0261e.pdf](http://www.fao.org/3/a-a0261e.pdf)

\_\_\_\_\_. 2006. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. Rome, FAO.

\_\_\_\_\_. 2010. The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture. FAO Water Report No. 35. Rome, FAO. [www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf)

\_\_\_\_\_. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW): Managing Systems at Risk. Rome, FAO.

\_\_\_\_\_. 2012. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Rome, FAO.

\_\_\_\_\_. 2013a. Empreintes du gaspillage alimentaire. Les chemins de la durabilité. Rome, FAO. [www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability\\_pathways/docs/Factsheet\\_FOOD-WASTAGE.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/Factsheet_FOOD-WASTAGE.pdf)

\_\_\_\_\_. 2013b. Guidelines to Control Water Pollution from Agriculture in China: Decoupling Water Pollution from Agricultural Production. FAO Water Report No. 40. Rome, FAO. [www.fao.org/documents/card/en/c/86c39a7c-b362-567e-b214-ae0df99ca72d/](http://www.fao.org/documents/card/en/c/86c39a7c-b362-567e-b214-ae0df99ca72d/)

\_\_\_\_\_. 2015. Initiative mondiale de réduction des pertes et du gaspillage alimentaires. Rome, FAO. (En anglais). [www.fao.org/3/a-i4068e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4068e.pdf)

FAO/GCRAI WLE (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale sur l'eau, la terre et les écosystèmes). À paraître. Water Pollution from Agriculture: A Global Review.



FAOSTAT. s.d.a. Site Internet de FAOSTAT. [faostat.fao.org/](http://faostat.fao.org/)

\_\_\_\_\_. s.d.b. Utilisation de pesticides. Site Internet de FAOSTAT. [faostat3.fao.org/browse/R/RP/E](http://faostat3.fao.org/browse/R/RP/E)

Fernández, D., Jouravlev, A., Lentini, E. and Yurquina, A. 2009. Contabilidad Regulatoria, Sustentabilidad Financiera y Gestión Mancomunada: Temas Relevantes en Servicios de Agua y Saneamiento [Regulatory Accountability, Financial Sustainability and Joint Management: Relevant Topics in Water and Sanitation Services]. Santiago, Natural Resources and Infrastructure Division, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). (En español). [www.cepal.org/es/publicaciones/6346-contabilidad-regulatoria-sustentabilidad-financiera-gestion-mancomunada-temas](http://www.cepal.org/es/publicaciones/6346-contabilidad-regulatoria-sustentabilidad-financiera-gestion-mancomunada-temas)

Ferro, G. and Lentini, L. L. 2013. Políticas Tarifarias para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM): Situación Actual y Tendencias Regionales Recientes [Politiques tarifaires en vue de la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement Goals (OMD) : Situation actuelle et tendances récentes dans la région]. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). (En español). [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4045/S2013024\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4045/S2013024_es.pdf)

Finger, M. M. and Allouche, J. 2002. Water Privatisation: Trans-national Corporations and the Re-regulation of the Water Industry. London/New York, Spon Press.

Förster, J. 2014. Eurostat Statistics Explained. Water Use in Industry. Luxembourg, Eurostat. [ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water\\_use\\_in\\_industry](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_use_in_industry)

GE Reports. 2015. Ralph Exton: Closing the Gap between Treating Wastewater and Reusing it. Site Internet de GE Reports. [www.gereports.com/post/120556373453/closing-the-gap-between-treating-wastewater-and-reusing/](http://www.gereports.com/post/120556373453/closing-the-gap-between-treating-wastewater-and-reusing/)

GEN (Global Ecolabelling Network). s.d. Site Internet de FAOSTAT. [www.globalecolabelling.net/](http://www.globalecolabelling.net/)

Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M. M. and Hoekstra, A. Y. 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, Vol. 1–2, pp. 25–36.

Gerlach, E. and Franceys, R. 2010. Regulating water services for all in developing economies. *World Development*, Vol. 38, No. 9, pp. 1229–1240.

GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CBO9781107415324

Godfrey, N., Hart, J., Vaughan, W. T. and Wong, W. 2009. Using wastewater energy to heat an Olympic village for the 2010 Winter Olympics and beyond. *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2009*, pp. 6572–6580(9). Alexandria, Va., Water Environment Federation (WEF).

Goldface-Irokalibe, I. J. 1999. The application of water resources: Decree to the development and management of river basin development authorities. *Canadian Journal of Law and Jurisprudence*, Vol. 5, No. 57.

\_\_\_\_\_. 2002. Towards an Effective Legal and Institutional, Framework for Integrated Water Resources Management in Nigeria. A.B.U. Zaria.

Goldface-Irokalibe, I. J. et al. 2001. WRMS, Legal and regulatory Framework (GAC).

González, O., Bayarri, B., Acena, J., Pérez, S. and Barceló, D. 2016. Treatment technologies for wastewater reuse: Fate of contaminants of emerging concern. Vol. 45 of D. Fatta-Kassinos, D. D. Dionysiou and K. Kümmeler (eds), *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse: The Handbook of Environmental Chemistry*, pp. 5–37. Doi: 10.1007/698\_2015\_363

Gouvernement du Canada. 2016. Décret d'inscription d'une substance toxique à l'annexe l'annexe 1 de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999). *Gazette du Canada*, Vol. 150, no 13. Gouvernement du Canada. [www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2016/2016-06-29/html/sor-dors150-eng.php#archived](http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2016/2016-06-29/html/sor-dors150-eng.php#archived)

\_\_\_\_\_. s.d. Contamination des eaux souterraines. Site Web du gouvernement du Canada. [www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=6A7FB7B2-1](http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=6A7FB7B2-1)

Government of British Columbia. 1992. Urban runoff quality control guidelines for the province of British Columbia. Vancouver, BC, Waste Management Group, Environmental Protection Division. [www.env.gov.bc.ca/wat/wq/nps/NPS\\_Pollution/Stormwater\\_Runoff/urban\\_runoff\\_guidelines.pdf](http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/nps/NPS_Pollution/Stormwater_Runoff/urban_runoff_guidelines.pdf)

Grigg, N. S., Rogers, P. D. and Edmiston, S. S. 2013. Dual Water Systems: Characterization and Performance for Distribution of Reclaimed Water. Denver, Colo., Water Research Foundation.

- Grönwall, J. and Jonsson, A. C. À paraître. The impact of 'zero' coming into fashion: ZLD uptake and socio-technical transitions in Tirupur. *Water Alternatives*.
- Groom, E., Halpern, J. and Erhardt, D. 2006. Explanatory Notes on Key Topics in the Regulation of Water and Sanitation Services. Water Supply And Sanitation Sector Board Discussion Paper Series No.6. Washington, DC, World Bank. [hdl.handle.net/10986/17236](http://hdl.handle.net/10986/17236).
- Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., Jackson, S. J., Karvazy, K., Kelly, L., Macpherson, L., Mihelcic, J. R., Pramanik, A., Raskin, L., Van Loosrecht, M. M. C. M., Yeh, D. and Love, N. G. 2009. A New Planning and Design Paradigm to Achieve Sustainable Resource Recovery from Wastewater. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, No. 16, pp. 126–130. Doi: 10.1021/es9010515
- GWl (Global Water Intelligence). 2015. Industrial Water Technology Markets 2015: Meeting Industrial Needs in Process Water Treatment and Wastewater Reuse. Oxford, United Kingdom, GWl. [www.globalwaterintel.com/market-intelligence-reports/industrial-water-technology-markets-2015-meeting-industrial-needs-process-water-treatment-and-wastewater-reuse](http://www.globalwaterintel.com/market-intelligence-reports/industrial-water-technology-markets-2015-meeting-industrial-needs-process-water-treatment-and-wastewater-reuse)
- GWOPA/UN-Habitat/ICLEI/WWF/UCLG/WWC/DGI (Global Water Operators' Partnership Alliance/United Nations Human Settlements Programme/Local Governments for Sustainability/7th World Water Forum/The Global Network of Cities, Local and Regional Governments/World Water Council/Daegu Gyeongbuk Development Institute). 2015. The Daegu-Gyeongbuk Water Action for Sustainable Cities and Regions. Draft Discussion Paper. [www.uclg.org/sites/default/files/lras\\_dg\\_water\\_action\\_for\\_sustainable\\_cities\\_and\\_regions\\_april2015.pdf](http://www.uclg.org/sites/default/files/lras_dg_water_action_for_sustainable_cities_and_regions_april2015.pdf)
- GWP (Partenariat mondial pour l'eau). 2013. Integrated Urban Water Management (IUWM): Toward Diversification and Sustainability. Policy Brief. Stockholm, GWP. [www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2014. Impacts of Climate on Wastewater Management. Discussion Brief No. 5. Partenariat mondial pour l'eau. Stockholm, GWP. [www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-C%20Files/TOPIC%205%20-%20Impacts%20of%20Climate%20on%20Wastewater%20Management.pdf)
- Hanjra, M. A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F. and Jackson, T. M. M. 2012. Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 215, No. 3, pp. 255–269. Doi: 10.1016/j.ijheh.2011.10.003
- Hanjra, M. A., Drechsel, P., Wichelns, D. and Qadir, M. 2015a. Transforming urban wastewater into an economic asset: Opportunities and challenges. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Hanjra, M. A., Drechsel, P., Mateo-Sagasta, J., Otoo, M. M. and Hernández-Sancho, F. 2015b. Assessing the finance and economics of resource recovery and reuse solutions across scales. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Harris, S., Morris, C., Morris, D., Cormican, M. M. and Cummins, E. E. 2013. The effect of hospital effluent on antimicrobial resistant *E. coli* within a municipal wastewater system. *Environment Science: Process Impacts*, Vol. 15, No. 3, pp. 617–622.
- Hasan, A. 1988. Orangi Pilot Project: A low-cost sewer system by low-income Pakistanis. B. Turner (ed.), *Building Community: A Third World Case Book*. London, Building Community Books.
- HCR (Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés). 2016. Jordanie : UNHCR Operational Update - August 2016. [reliefweb.int/report/jordan/jordan-unhcr-operational-update-august-2016](http://reliefweb.int/report/jordan/jordan-unhcr-operational-update-august-2016)
- Helmer, R. and Hespanhol, I. (eds). 1997. *Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*. London, F & F Spon, on behalf of the United Nations Environment Programme/Water Supply & Sanitation Collaborative Council/World Health Organization (UNEP/ WSSCC/ WHO).
- Herbert, E. R., Boon, P., Burgin, A. J., Neubauer, S. C., Franklin, R. B., Ardón, M., Hopfensperger, K. N., Lamers, L. P. M. and Gell, P. 2015. A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, Vol. 6, No. 10, pp. 1–43.
- Heymann, E., Lizio, D. and Siehl, M. 2010. *World Water Markets: High Investment Requirements Mixed with Institutional Risks*. Frankfurt am Main, Germany, Deutsche Bank Research. [www.dbresearch.de/PROD/DBR\\_INTERNET\\_EN-PROD/PROD000000000258353.PDF](http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD000000000258353.PDF)
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. and Kanae, S. S. 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, Vol. 3, pp. 816–821. Doi: 10.1038/nclimate1911

- Hoekstra, A. Y. 2008. Water Neutral: Reducing and Offsetting the Impacts of Water Footprints. Value of Water Research Report Series No. 28. Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE. [waterfootprint.org/en/resources/publications/value-water-research-report-series-unesco-ihe/](http://waterfootprint.org/en/resources/publications/value-water-research-report-series-unesco-ihe/)
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. M. and Mekonnen, M. M. M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. London/Washington, DC, Earthscan. [waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)
- Holmgren, K. E., Li, H., Verstraete, W. and Cornel, P. P. 2015. State of the Art Compendium Report on Resource Recovery from Water. IWA Resource Recovery Cluster. London, International Water Association (IWA). [www.iwa-network.org/downloads/1440858039-web%20State%20of%20the%20Art%20Compendium%20Report%20on%20Resource%20Recovery%20from%20Water%202105%20.pdf](http://www.iwa-network.org/downloads/1440858039-web%20State%20of%20the%20Art%20Compendium%20Report%20on%20Resource%20Recovery%20from%20Water%202105%20.pdf)
- Hophmayer-Tokich, S. S. 2006. Wastewater Management Strategy: Centralized v. Decentralized Technologies for Small Communities. Enschede, The Netherlands, The Center for Clean Technology and Environmental Policy, University of Twente. [purl.utwente.nl/publications/95384](http://purl.utwente.nl/publications/95384)
- HUBER. s.d. Three HUBER projects for wastewater heat recovery in Switzerland. Site Internet de HUBER. Berching, Allemagne. [www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/three-huber-projects-for-wastewater-heat-recovery-in-switzerland.html](http://www.huber.de/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/three-huber-projects-for-wastewater-heat-recovery-in-switzerland.html)
- Hudson, A. (ed.). 2012. Catalysing Ocean Finance: Volume II Methodologies and Case Studies. New York, Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). [www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/water\\_governance/ocean\\_and\\_coastalareagovernance/catalysing-ocean-finance.html](http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/water_governance/ocean_and_coastalareagovernance/catalysing-ocean-finance.html)
- Hutton, G. and Haller, L. L. 2004. Amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le monde: coûts et avantages. (En anglais). Genève, Suisse, Organisation mondiale de la santé (OMS). [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wsh0404.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/wsh0404.pdf)
- Hutton, G. and Varughese, M. M. 2016. The Cost of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. Technical paper. Washington, DC, World Bank/ Water and Sanitation Programme (WSP). [elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/K8543](http://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/K8543)
- Iannelli, R., Bianchi, V., Salvato, M. M. and Borin, M. 2011. Modelling assessment of carbon supply by different macrophytes for nitrogen removal in pilot vegetated mesocosms. International Journal of Environmental and Analytical Chemistry, Vol. 91, No. 7–8, pp. 708–726.
- Idelovitch, E. and Ringskog, K. 1997. Wastewater Treatment in Latin America: Old and New Options. Washington, DC, World Bank. [www-wds.worldbank.org/external/default/WDSCContentServer/WDSP/IB/2011/08/11/000356161\\_20110811002849/Rendered/PDF/170370REPLACEM00as0previous0record0.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSCContentServer/WDSP/IB/2011/08/11/000356161_20110811002849/Rendered/PDF/170370REPLACEM00as0previous0record0.pdf)
- Ilic, S., Drechsel, P., Amoah, P. and Lejeune, J. T. 2010. Applying the multiple-barrier approach for microbial risk reduction in the post-harvest sector of wastewater irrigated vegetables. P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. M. Redwood and A. Bahri (eds), Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigation Risks in Low-income Countries. London/Sterling, Va., Earthscan, pp. 239–259. [www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater\\_Irrigation\\_and\\_Health\\_book.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater_Irrigation_and_Health_book.pdf)
- Industrial Ecology. s.d. Kalundborg. <http://www.tudelft.nl/en/study/master-of-science/master-programmes/industrial-ecology/>
- Industrial Symbiosis Institute. 2008. New Technologies and Innovation through Industrial Symbiosis. Kalundborg, Denmark, Industrial Symbiosis Institute. [www.ewp.rpi.edu/hartford/~stephc/ET/Other/Miscellaneous/Kalundborg-Industrial%20Symbiosis%20Institue.pdf](http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~stephc/ET/Other/Miscellaneous/Kalundborg-Industrial%20Symbiosis%20Institue.pdf)
- IWA (The International Water Association). 2014. An Avoidable Crisis: WASH Human Resources Capacity Gaps in 15 Developing Economies. London. IWA Publishing. [www.iwa-network.org/downloads/1422745887-an-avoidable-crisis-wash-gaps.pdf](http://www.iwa-network.org/downloads/1422745887-an-avoidable-crisis-wash-gaps.pdf)
- IWA (International Water Association) Publishing. s.d. Industrial Wastewater Treatment. Site Internet d'IWA Publishing. [www.iwapublishing.com/news/industrial-wastewater-treatment](http://www.iwapublishing.com/news/industrial-wastewater-treatment)
- IWMI (Institut international de gestion des ressources en eau). 2012. Resource Recovery and Reuse (RRR) Project: Baseline Survey Report – Kampala. Colombo, IWMI. [ifadrrr.iwmi.org/Data/Sites/34/media/pdf/rrr-baseline-survey-report---kampala.pdf](http://ifadrrr.iwmi.org/Data/Sites/34/media/pdf/rrr-baseline-survey-report---kampala.pdf)
- Jackson, H. B. 1996. Global needs and developments in urban sanitation. D. Mara (ed.), Low-cost Sewerage. Chichester, UK, John Wiley & Sons.
- Jiménez-Cisneros, B. 2008. Unplanned reuse of wastewater for human consumption: The Tula Valley, Mexico. B. Jiménez-Cisneros and T. Asano (eds), Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs. Scientific and Technical Report No. 20. London, IWA Publishing.

- \_\_\_\_\_. B. 2011. Safe sanitation in low economic development areas. P. Wilderer (ed.), *Treatise on Water Science*, Vol. 4, pp. 147–201. Amsterdam, Elsevier Science.
- Jouravlev, A. 2004. Drinking Water Supply and Sanitation Services on the Threshold of the XXI Century. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (UNECLAC). [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6454/S047591\\_en.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6454/S047591_en.pdf)
- JPEC (Japan Petroleum Energy Center). 1999. Treatment and Utilization of Oil-containing Produced-water in Oman. Tokyo, JPEC. [www.pecj.or.jp/japanese/report/research/report-pdf/H11\\_1999/99surv9-e.pdf](http://www.pecj.or.jp/japanese/report/research/report-pdf/H11_1999/99surv9-e.pdf)
- Kalundborg Symbiosis. s.d. Kalundborg Symbiosis Diagram. [www.symbiosis.dk/diagram](http://www.symbiosis.dk/diagram)
- Karg H. and Drechsel, P. 2011. Motivating behaviour change to reduce pathogenic risk where unsafe water is used for irrigation. *Water International*, Vol. 36, No. 4, pp. 476–490. [dx.doi.org/10.1080/02508060.2011.594684](https://doi.org/10.1080/02508060.2011.594684)
- Karnib, A. 2016. Assessing population coverage of safely managed wastewater systems: A case study of Lebanon. Research Paper No. 313. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, Vol. 6, No. 2. Doi: 10.2166/washdev.2016.009
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M., Seager, R. and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 112, No. 11, pp. 3241–3246. Doi: 10.1073/pnas.1421533112
- Keraita, B. and Drechsel, P. 2004. Agricultural use of untreated urban wastewater in Ghana. C.A. Scott, N.I. Faruqui, and L. Raschid-Sally (eds), *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*. Wallingford, UK, CABI Publishing; Colombo/Ottawa, International Water Management Institute/International Development Research Centre (IWMI/IDRC).
- Keraita, B., Drechsel, P., Mateo-Sagasta, J. and Medlicott, K. 2015. Health risks and cost-effective health risk management in wastewater use systems. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Kjellén, M. 2006. From Public Pipes to Private Hands: Water Access and Distribution in Dar es Salaam, Tanzania. Stockholm, Department of Human Geography, Stockholm University.
- Kjellén, M., Pensulo, C., Nordqvist, P. and Fogde, M. 2012. Global Review of Sanitation System Trends and Interactions with Menstrual Management Practices. Report for the Menstrual Management and Sanitation Systems Project. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). [www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-ProjectReport-Kjellen-GlobalReviewOfSanitationSystemTrendsAndInteractionsWithMenstrualManagementPractices.pdf](http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-ProjectReport-Kjellen-GlobalReviewOfSanitationSystemTrendsAndInteractionsWithMenstrualManagementPractices.pdf)
- Knudsen, L. G., Phuc, P. D., Hiep, N. T., Samuelsen, H., Jensen, P. K., Dalsgaard, A., Raschid-Sally, L. and Konradsen, F. 2008. The fear of awful smell: Risk perceptions among farmers in Vietnam using wastewater and human excreta in agriculture. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, Vol. 39, No. 2, pp. 341–352.
- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., Af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. and Drangert, J.-A. 2014. Urine Diversion: One Step Towards Sustainable Sanitation. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI). [www.gwp.org/Global/GWP-CACENA\\_Files/en/pdf/esr3.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/esr3.pdf)
- Lahnsteiner, J., Du Pisani, P., Menge, J. and Esterhuizen, J. 2013. More than 40 years of direct potable reuse experience in Windhoek. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri and J. Anderson (eds). *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.
- Lanciani, R. 1890. La Cloaca Maxima [The Cloaca Maxima]. *Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Rome* [Bulletin of the Municipal Archeological Commission of Rome], Vol. 18, No. 3, pp. 95–102. (En Italien.)
- Lautze, J., Stander, E., Drechsel, P., Da Silva, A. K. and Keraita, B. 2014. Global Experiences in Water Reuse. Resource Recovery and Reuse Series 4. Colombo, International Water Management Institute (IWMI)/CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems. [www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\\_recovery\\_and\\_reuse-series\\_4.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_4.pdf)
- Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A. and Anderson, J. 2013. *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.
- LEA/CESAO/ACWUA (Ligue des États arabes/Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale/ Association des services de distribution d'eau et d'assainissement des pays arabes). 2015. Supporting the Move from the MDGs to the SDGs in the Arab Region. Regional Initiative for Establishing a Regional Mechanism for Improved Monitoring and Reporting on Access to Water Supply and Sanitation Services in the Arab Region (MDG+ Initiative). Beyrouth, CESAO. [www.unescwa.org/files/page\\_attachments/brochure-mdgs\\_to\\_sdgs-nov2015.pdf](http://www.unescwa.org/files/page_attachments/brochure-mdgs_to_sdgs-nov2015.pdf)



\_\_\_\_\_. 2016. MDG+ Initiative Report Report 2016.

- Lentini, E. E. 2015. El Futuro de los Servicios de Agua y Saneamiento en América Latina: Desafíos de los Operadores de Áreas Urbanas de más de 300.000 Habitantes [L'avenir des services d'eau est d'assainissement en Amérique latine : difficultés rencontrées par les fournisseurs de zones urbaines de plus de 300 000 habitants]. Washington, DC, Inter-American Development Bank (IADB). (En español.) [publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7176/El\\_futuro\\_de\\_los\\_servicios\\_de\\_agua\\_y\\_saneamiento\\_en\\_America\\_Latina.pdf](http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7176/El_futuro_de_los_servicios_de_agua_y_saneamiento_en_America_Latina.pdf)
- Li, F. T., Wang, H. T. and Mafuta, C. 2011. Current status and technology demands for water resources and water environment in Africa. L. F. Ting (ed.), *Research on Water Resources of African Typical Areas*. Beijing, Science Press.
- Libhaber, M. M. and Orozco-Jaramillo, Á. 2012. Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater. For Decision Makers and Practicing Engineers. London, IWA Publishing.
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R. and Searchinger, T. 2013. Reducing Food Loss and Waste: Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future. Working paper. Washington, DC, World Resources Institute (WRI). [www.wri.org/sites/default/files/reducing\\_food\\_loss\\_and\\_waste.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/reducing_food_loss_and_waste.pdf)
- Liu, Z., Kanjo, Y. and Mizutani, S. S. 2009. Removal mechanisms for endocrine disrupting compounds (EDCs) in wastewater treatment – Physical means, biodegradation, and chemical advanced oxidation: A review. *Science of The Total Environment*, Vol. 407, No. 2, pp. 731–748. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.08.039
- Lorenz, J. J. 2014. A review of the effects of altered hydrology and salinity on vertebrate fauna and their habitats in northeastern Florida Bay. *Wetlands*, Vol. 34, Supplement 1, pp. 189–200.
- Lowrance, R., Altier, L. S., Newbold, J. D., Schnabel, R. R., Groffman, P. M., Denver, J. M., Correll, D. L., Gilliam, J. W., Robinson, J. L., Brinsfield, R. B., Staver, K. W., Lucas, W. and Todd, A. H. 1995. Water Quality Functions of Riparian Forest Buffer Systems in the Chesapeake Bay Watershed. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency (US EPA).
- Mahjoub, O. O.** 2013. Ateliers de sensibilisation au profit des agriculteurs et des femmes rurales aux risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture: Application à la région de Oued Souhil, Nabeul, Tunisie [Awareness-raising workshops for farmers and rural women about the risks related to the use of wastewater in agriculture: Applied to the area of Oued Souhil, Nabeul, Tunisia]. ONU-Eau. Compte rendu du projet relatif à l'utilisation sans risque des eaux usées dans l'agriculture. International wrap-up event, 26–28 June 2013, Tehran. (In French.) [www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/550/mod\\_page/content/84/Tunisia\\_Ateliers%20de%20sensibilisation%20au%20profit%20des%20agriculteurs%20et%20des%20femmes%20rurales\\_Mahjoub.pdf](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/550/mod_page/content/84/Tunisia_Ateliers%20de%20sensibilisation%20au%20profit%20des%20agriculteurs%20et%20des%20femmes%20rurales_Mahjoub.pdf)
- Major, D. C., Omojola, A., Dettinger, M., Hanson, R. T. and Sanchez-Rodriguez, R. 2011. Climate change, water, and wastewater in cities. C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer and S. Mehrotra (eds), *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 113–143. [uccrn.org/files/2014/02/ARC3-Chapter-5.pdf](http://uccrn.org/files/2014/02/ARC3-Chapter-5.pdf)
- Maksimović, C. and Tejada-Guibert, J. (eds). 2001. *Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope*. London, IWA Publishing.
- Mancy, K. H., Fattal, B. and Kelada, S. S. 2000. Cultural implications of wastewater reuse in fish farming in the Middle East. *Water Science & Technology*, Vol. 42, No. 1 – 2, pp. 235–239.
- Mara, D. (ed.). 1996. *Low-cost Sewerage*. New York, John Wiley.
- Mara, D. and Alabaster, G. 2008. A new paradigm for low-cost urban water supplies and sanitation in developing countries. *Water Policy*, Vol. 10, pp. 119–129.
- Mara, D. and Carincross, S. 1989. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture: Measures for Public Health Protection*. Genève, Suisse, Organisation mondiale de la santé (OMS).
- Markandya, A., Perelet, R., Mason, P. and Taylor, T. 2001. *Dictionary of Environmental Economics*. London, Earthscan.
- Massoud, M. A., Tarhini, A. and Nasr, J. A. 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, No. 1, pp. 652–659. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.07.001
- Matassa, S., Batstone, D. J., Hülsen, T., Schnoor, J. and Verstraete, W. 2015. Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? *Environmental Science and Technology*, Vol. 49, No. 9, pp. 5247–5254. Doi: 10.1021/es505432w

- Mateo-Sagasta, J. and Burke, J. 2010. Agriculture and Water Quality Interactions: A Global Overview. SOLAW Background Thematic Report-TR08. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. 2015. Global wastewater and sludge production, treatment and use. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns, Wastewater: Economic Asset in Urbanizing World. Springer Netherlands.
- Meda, A., Lensch, D., Schaum, C. and Cornel, P. P. 2012. Energy and water: relations and recovery potential. V. Lazarova, K. Choo and P. Cornel (eds), Water-Energy Interactions in Water Reuse. London, IWA Publishing.
- Mejía, A., Requena, B., Rivera D., Pardón, M. M. and Rais, J. 2012. Agua Potable y Saneamiento en América Latina y el Caribe: Metas Realistas y Soluciones Sostenibles [Eau potable et assainissement en Amérique latine et dans les Caraïbes : des objectifs réalistes et des solutions durables]. Caracas, Development Bank of Latin America (CAF). (En espagnol). publicaciones.caf.com/media/17238/libro\_agua\_esp.pdf
- Mekonnen, M. M. M., Hoekstra, A. Y. 2011. National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption. Delft, The Netherlands, UNESCO-IHE Institute for Water Education. [waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advanced, Vol. 2, No. 2. Doi: 10.1126/sciadv.1500323
- Melo, J. C. 2005. The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil: Case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas. Water and Sanitation Program (WSP). Washington, DC, World Bank. [documents.worldbank.org/curated/en/505601468226737476/The-experience-of-condominial-water-and-sewerage-systems-in-Brazil-case-studies-from-Brasilia-Salvador-and-Parauebas](https://documents.worldbank.org/curated/en/505601468226737476/The-experience-of-condominial-water-and-sewerage-systems-in-Brazil-case-studies-from-Brasilia-Salvador-and-Parauebas)
- Mensah, A., Cofie, O. and Montangero, A. 2003. Lessons from a Pilot Co-composting Plant in Kumasi, Ghana. 29th WEDC International Conference, Towards the Millennium Development Goals, Abuja. [wedc.lboro.ac.uk/resources/conference/29/Mensah.pdf](http://wedc.lboro.ac.uk/resources/conference/29/Mensah.pdf)
- MEW (Ministère de l'énergie et l'eau, Gouvernement du Liban). 2012. National Strategy for the Wastewater Sector. Resolution No. 35 of the 17th October 2012. Beyrouth, Gouvernement du Liban.
- Michaud, D., Gabric, S., Hommann, K. and Shegay, A. 2015. Services de l'eau et des eaux usées dans la région du Danube : état du secteur. Vienne, Groupe de la Banque mondiale. [documents.worldbank.org/curated/en/327761467999140967/Water-and-wastewater-services-in-the-Danube-region-a-state-of-the-sector](https://documents.worldbank.org/curated/en/327761467999140967/Water-and-wastewater-services-in-the-Danube-region-a-state-of-the-sector)
- MIE/PWA (Ministry of Infrastructure and Environment of the Netherlands/Public Waste Agency of Flanders, Belgium). 2016. Inventory of Awareness, Approaches and Policy: Insight in Emerging Contaminants in Europe. Deventer, The Netherlands, Witteveen+Bos and TTE Consultants.
- Mihelcic, J. R., Fry, L. M. and Shaw, R. 2011. Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. Chemosphere, Vol. 84, No. 6, pp. 832–839. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.046
- Milieu. 2016. Assessment of Impact of Storm Water Overflows from Combined Waste Water Collecting Systems on Water Bodies (including the Marine Environment) in the 28 EU Member States, Final Report. Brussels, Milieu Ltd. Law and Policy Consulting.
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F. and Sala-Garrido, R. 2011. Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for Spanish wastewater treatment plants. Journal of Environmental Management, Vol. 92, No. 12, pp. 3091–3097.
- MOPIC (Ministry of Planning and International Cooperation of the Hashemite Kingdom of Jordan) 2016. Jordan Response Plan for the Syrian Crisis 2016–2018 Annexes. Amman, MOPIC. [www.jrpsc.org/](http://www.jrpsc.org/)
- Moriarty, P., Butterworth, J. A. and Van Koppen, B., 2004. Beyond Domestic: Case Studies on Poverty and Productive Uses of Water at the Household Level. Technical Paper Series No. 41. Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre.
- Moussa, M. M. S. 2008. Process Analysis of Textile Manufacturing: Environmental Impacts of Textile Industries. E-textile toolbox. [yeumoitruong.vn/attachments/u2s3-4-environmental-impact-of-textile-industries-pdf.355/](http://yeumoitruong.vn/attachments/u2s3-4-environmental-impact-of-textile-industries-pdf.355/)
- Muñoz, I., Gómez-Ramos, M. M. J., Agüera, A., Fernández-Alba, A. R., García-Reyes, J. F. and Molina-Díaz, A. 2009. Chemical evaluation of contaminants in wastewater effluents and the environmental risk of reusing effluents in agriculture. Trends in Analytical Chemistry, Vol. 28, No. 6, pp. 676–694. doi:10.1016/j.trac.2009.03.007

- Murray, A. and Drechsel, P. 2011. Why do some wastewater treatment facilities work when the majority fail? Case study from the sanitation sector in Ghana. *Waterlines*, Vol. 30, No. 2, pp. 135–149. dx.doi.org/10.3362/1756-3488.2011.015
- Murray, A., Cofie, O. and Drechsel, P. 2011. Efficiency indicators for waste-based business models: Fostering private-sector participation in wastewater and faecal-sludge management. *Water International*, Vol. 36, No. 4, pp. 505–521. dx.doi.org/10.1080/02508060.2011.594983
- Mustapha, M. K. 2008. Assessment of the water quality of Oyun Reservoir, Offa, Nigeria, using selected physico-chemical parameters. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 8, No. 2, pp. 309–319. www.trjfas.org/abstract.php?lang=en&id=626
- MWI (Ministry of Water and Irrigation of the Hashemite Kingdom of Jordan). 2016a. Water Substitution and Reuse Policy. Amman, MWI. www.mwi.gov.jo/sites/en-us/Hot%20Issues/Strategic%20Documents%20of%20The%20Water%20Sector/Water%20Substitution%20and%20Reuse%20Policy%2025.2.2016.pdf
- \_\_\_\_\_. 2016b. Decentralized Wastewater Management Policy. www.mwi.gov.jo/sites/en-us/Hot%20Issues/Strategic%20Documents%20of%20The%20Water%20Sector/Decentralized%20Wastewater%20Management%20Policy%2025.2.2016.pdf
- Nandeesh, M. M. C. 2002. Sewage Fed Aquaculture System of Kolkata – A Century-old Innovation of Farmers. *Aquaculture Asia*, Vol. 7, pp. 28–32. library.enaca.org/AquacultureAsia/Articles/April-June-2002/SewageFedAquacultureSystemsOfKolkata.pdf
- Narayan, D., Patel, R., Schafft, K., Rademacher, A. and Koch-Schulte, S. S. 2000. Can Anyone Hear us? Voices from 47 Countries. Vol. I of *Voices of the Poor*. Washington, DC, World Bank.
- Narducci, P. P. 1889. Sulla fognatura della città di Roma [On the sewerage of the city of Rome]. Technical description. Rome, Forzani e C. (In Italian.)
- National Academies of Science, Engineering and Medicine. 2015. Using Graywater and Stormwater to enhance Local Water Supplies: An Assessment of Risks, Costs and Benefits. Washington, DC, National Academies Press.
- Nikiema, J., Cofie, O. and Impraim, R. 2014. Technological options for safe resource recovery from fecal sludge. Colombo, International Water Management Institute (IWMI) CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE). www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\_recovery\_and\_reuse-series\_2.pdf
- Nikiema, J., Figoli, A., Weissenbacher, N., Langergraber, G., Marrot, B., Moulin, P. P. 2013. Wastewater treatment practices in Africa - Experiences from seven countries. *Sustainable Sanitation Practice*, Vol. 14, pp. 26–34. cgspace.cgiar.org/handle/10568/40210
- NLÉ. 2012. Makoko Floating School: Adapting African Coastal Cities to the Impacts of Climate Change. Research Report. Amsterdam, NLÉ. www.nleworks.com/publication/makoko-prototype-book/
- Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, L. P. and Hernández-Padilla, F. 2012. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean – Soil, Air, Water*, Vol. 40, No. 9, pp. 926–932. onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201100707/full
- NRMMC/EPHC/NHMRC (Natural Resource Management Ministerial Council/Environment Protection and Heritage Council/National Health and Medical Research Council). 2009. National Water Quality Management Strategy – Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2) – Stormwater Harvesting and Reuse. Document No. 23. Canberra, NRMMC/EPHC/NHMRC. www.environment.gov.au/system/files/resources/4c13655f-eb04-4c24-ac6e-bd01fd4af74a/files/water-recycling-guidelines-stormwater-23.pdf
- O'Neill, M. 2015. Ecological Sanitation – A Logical Choice? The Development of the Sanitation Institution in a World Society. Tampere, Finland, Tampere University of Technology.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2010. Le prix de l'eau et des services d'eau potable et d'assainissement. Paris, Éditions OCDE.
- \_\_\_\_\_. 2011a. Ten Years of Water Sector Reform in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. Paris, Éditions OCDE. dx.doi.org/10.1787/9789264118430-en
- \_\_\_\_\_. 2011b. Environmental Performance Review: Israel. Paris, Éditions OCDE.
- \_\_\_\_\_. 2012. Meeting the Challenge of Financing Water and Sanitation: Tools and Approaches. Paris, Éditions OCDE. dx.doi.org/10.1787/9789264120525-en
- \_\_\_\_\_. 2013a. Business Models for Rural Sanitation in Moldova. Paris, OCDE.

- \_\_\_\_\_. 2013b. New Modes of Water Supply and Sanitation Management and Emerging Business Models. Paris, OCDE. [www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPBWE/RD\(2013\)7&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/WPBWE/RD(2013)7&docLanguage=En)
- \_\_\_\_\_. 2015a. Les conséquences économiques du changement climatique. Paris, Éditions OCDE.
- \_\_\_\_\_. 2015b. Water and Cities. Ensuring Sustainable Futures. Paris, Éditions OCDE. [www.oecd.org/fr/regional/water-and-cities-9789264230149-en.htm](http://www.oecd.org/fr/regional/water-and-cities-9789264230149-en.htm)
- \_\_\_\_\_. 2016. Sustainable Business Models for Water Supply and Sanitation in Small Towns and Rural Settlements in Kazakhstan. Paris, Éditions OCDE. [dx.doi.org/10.1787/9789264249400-en](https://doi.org/10.1787/9789264249400-en)
- \_\_\_\_\_. s.d. Registre des rejets et des transferts de polluants. Site Internet de l'OCDE. [www.oecd.org/chemicalsafety/pollutant-release-transfer-register/](http://www.oecd.org/chemicalsafety/pollutant-release-transfer-register/)
- OCHA (Bureau de la coordination des affaires humanitaires). 2016. Humanitarian Bulletin Lebanon, Issue Issue 22, 1–31 August 2016. [reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/OCHA-HumanitarianBulletin-Issue22-August2016.pdf](http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/OCHA-HumanitarianBulletin-Issue22-August2016.pdf)
- Olmstead, S. M. 2010. The Economics of Water Quality. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(1):44-62.
- OMS (Organisation mondiale de la santé). 2006a. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères - — Vol. 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture. Genève, Suisse, OMS. [apps.who.int/iris/bitstream/10665/78280/3/9789242546835\\_fre.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78280/3/9789242546835_fre.pdf?ua=1)
- \_\_\_\_\_. 2006b. A Compendium of Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region. Cairo, WHO. [apps.who.int/iris/handle/10665/116515](http://apps.who.int/iris/handle/10665/116515)
- \_\_\_\_\_. 2008. Acute pesticide poisoning: a proposed classification tool (Intoxication aiguë par les pesticides : proposition d'un outil de classification). *Bulletin de l'Organisation mondiale de la santé*, vol. 86, pp. 205-209. [www.who.int/bulletin/volumes/86/3/07-041814/en/](http://www.who.int/bulletin/volumes/86/3/07-041814/en/)
- \_\_\_\_\_. 2010. Third Edition of the WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture: Guidance Note for National Programme Managers – Health-Based Targets. Genève, Suisse, OMS. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/FLASH\\_OMS\\_WSHH\\_Guidance\\_note3\\_20100901\\_17092010.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/FLASH_OMS_WSHH_Guidance_note3_20100901_17092010.pdf?ua=1)
- \_\_\_\_\_. 2014a. Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities. (Investir dans l'eau et l'assainissement : améliorer l'accès, réduire les inégalités). UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water GLAAS 2014 Report. Genève, Suisse, OMS. [apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087_eng.pdf?ua=1)
- \_\_\_\_\_. 2014b. Preventing Diarrhoea through Better Water, Sanitation and Hygiene: Exposures and Impacts in Low- and Middle-income Countries. Genève, Suisse, OMS. [apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/150112/1/9789241564823_eng.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015. UN-Water GLAAS TrackFin initiative: Tracking Financing to Sanitation, Hygiene and Drinking-water at the National Level. Guidance document summary for decision-makers. Genève, Suisse, OMS. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/investments/trackfin-summary.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/investments/trackfin-summary.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016a. Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva, Switzerland, WHO. [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/)
- \_\_\_\_\_. 2016b. La planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement : Manual for Safe Use and Disposal of Wastewater, Greywater and Excreta. Genève, Suisse, OMS. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/ssp-manual/fr/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/fr/)
- ONUDI (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel). 2010. A Greener Footprint for Industry: Opportunities and Challenges of Sustainable Industrial Development. Vienne, ONUDI. [www.unido.org/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/greenindustry/green-industry-platform.html](http://www.unido.org/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/greenindustry/green-industry-platform.html)
- \_\_\_\_\_. 2011. UNIDO Green Industry Policies for Supporting Green Industry. Vienne, ONUDI. [www.unido.org/fileadmin/user\\_media/Services/Green\\_Industry/web\\_policies\\_green\\_industry.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Green_Industry/web_policies_green_industry.pdf)
- ONU-Eau. 2015a. Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief. ONU-Eau. [www.unwater.org/fileadmin/user\\_upload/unwater\\_new/docs/UN-Water\\_Analytical\\_Brief\\_Wastewater\\_Management.pdf](http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/UN-Water_Analytical_Brief_Wastewater_Management.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015b. Compendium of Water Quality Regulatory Frameworks: Which Water for Which Use? ONU-Eau.



- \_\_\_\_\_. 2016a. Metadata on Suggested Indicators for Global Monitoring of the Sustainable Development Goal 6 on Water and Sanitation. ONU-Eau. [www.unwater.org/fileadmin/user\\_upload/unwater\\_new/docs/Goal%206\\_Metadata%20Compilation%20for%20Suggested%20Indicators\\_UN-Water\\_v2016-04-01\\_2.pdf](http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/Goal%206_Metadata%20Compilation%20for%20Suggested%20Indicators_UN-Water_v2016-04-01_2.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016b. Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development. ONU-Habitat (Programme des Nations Unies pour les établissements humains). 2012. State of the World's Cities Report 2012/2013: Prosperity of Cities. World Urban Forum Edition. Nairobi, ONU-Habitat. [sustainabledevelopment.un.org/content/documents/745habitat.pdf](http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/745habitat.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016. World Cities Report 2016 - Urbanization and Development: Emerging Futures. Nairobi, ONU-Habitat. [wcr.unhabitat.org/main-report/](http://wcr.unhabitat.org/main-report/)
- \_\_\_\_\_. s.d. Lake Victoria Region Water and Sanitation (LVWATSAN). Initiative Reports. [mirror.unhabitat.org/content.asp?cid=2289&catid=462&typeid=24&subMenuId=0](http://mirror.unhabitat.org/content.asp?cid=2289&catid=462&typeid=24&subMenuId=0)
- OPS (Organisation panaméricaine de la santé). 1990. The Situation of Drinking Water Supply and Sanitation in the American Region at the End of the Decade 1981–1990, and Prospects for the Future. Volume 1. Washington, DC, PAHO. [www.ircwash.org/sites/default/files/827-AAL90-8870-0.pdf](http://www.ircwash.org/sites/default/files/827-AAL90-8870-0.pdf)
- Organisation des Nations Unies. 1997. Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation. New York, Organisation des Nations Unies. [legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/conventions/8\\_3\\_1997.pdf](http://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/conventions/8_3_1997.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d.a. Objectifs de développement durable. [www.un.org/sustainabledevelopment/fr/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/)
- \_\_\_\_\_. s.d.b. Traitement des eaux usées. Plate-forme de connaissances sur le développement durable, l'Organisation des Nations Unies. [www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology\\_sheets/freshwater/waste\\_water\\_treatment.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/freshwater/waste_water_treatment.pdf)
- Osibanjo, O. and Majolagbe, A. O. 2012. Physicochemical quality assessment of groundwater based on land use in Lagos city, Southwest, Nigeria. *Chemistry Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 79–86.
- Otoo, M. and P. Drechsel. 2015. Resource Recovery from Waste: Business Models for Energy, Nutrient and Water Reuse. London, Earthscan.
- Otoo, M., Mateo-Sagasta, J. and Madurangi, G. 2015. Economics of water reuse for industrial, environmental, recreational and potable purposes. Drechsel, P., Qadir, M. and Wichelns, D. (eds), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Outotec GmbH & Co. s.d. Outotec Sewage Sludge Incineration Plants. Outotec website. [www.outotec.com/en/Products--services/Energy/Sewage-Sludge-Incineration-Plants/](http://www.outotec.com/en/Products--services/Energy/Sewage-Sludge-Incineration-Plants/)
- Palmer, N., Lightbody, P., Fallowfield, H. and Harvey, B. 1999. Australia's Most Successful Alternative to Sewerage: South Australia's Septic Tank Effluent Disposal Schemes. [www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/articles/australia.pdf](http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/Sewerage/articles/australia.pdf)
- Peal, A., Blackett, I., Hawkins, P. M. and Heymans, C. 2014. Fecal sludge management: A comparative analysis of 12 cities. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, Vol. 4, No. 4, pp. 563–575. doi:10.2166/washdev.2014.026
- Pillay, A. E., Salih, F. M. and Maleek, M. I. 2010. Radioactivity in oily sludge and produced waste water from oil: Environmental concerns and potential remedial measures. *Sustainability*, Vol. 2, pp. 890–901. [www.mdpi.com/2071-1050/2/4/890/pdf](http://www.mdpi.com/2071-1050/2/4/890/pdf)
- PNUD WGF à SIWI/Cap-Net/Water-Net/WIN. 2009. *Training Manual on Water Integrity*. Stockholm, Stockholm International Water Institute (SIWI).
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement). 2006. Rapport sur le développement humain 2006 : Au-delà de la pénurie : pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau New York, PNUD. [hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2006\\_fr\\_complet.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2006_fr_complet.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2010. Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations. Pathways to Human Development. New York, PNUD. [hdr.undp.org/sites/default/files/reports/270/hdr\\_2010\\_en\\_complete\\_reprint.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/270/hdr_2010_en_complete_reprint.pdf)
- PNUD WGF à SIWI/Cap-Net/Water-Net/WIN. 2009. *Training Manual on Water Integrity*. Stockholm, Stockholm International Water Institute (SIWI).
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2002. International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management. London, IWA Publishing pour le compte du PNUE. [www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-15/main\\_index.asp](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-15/main_index.asp)

- \_\_\_\_\_. 2010. Clearing the Waters: A Focus on Water Quality Solutions. Nairobi, PNUE. [www.unep.org/publications/contents/pub\\_details\\_search.asp?ID=4123](http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4123)
- \_\_\_\_\_. 2012a. Greening the Economy through Life Cycle Thinking – Ten Years of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Nairobi, PNUE. [www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1536xPA-GreeningEconomythroughLifeCycleThinking.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1536xPA-GreeningEconomythroughLifeCycleThinking.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2012b. Measuring Water Use in a Green Economy. A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel. Nairobi, PNUE. [www.unep.org/resourcepanel-old/Portals/24102/Measuring\\_Water.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel-old/Portals/24102/Measuring_Water.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015a. Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards. Nairobi, PNUE. [unep.org/gpa/documents/publications/GoodPracticesforRegulatingWastewater.pdf](http://unep.org/gpa/documents/publications/GoodPracticesforRegulatingWastewater.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015b. Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Nairobi, PNUE. [unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf](http://unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015c. Options for Decoupling Economic Growth from Water Use and Water Pollution. Report of the International Resource Panel Working Group on Sustainable Water Management. Nairobi, PNUE. [www.unep.org/resourcepanel/KnowledgeResources/AssessmentAreasReports/Water/tabid/133332/Default.aspx](http://www.unep.org/resourcepanel/KnowledgeResources/AssessmentAreasReports/Water/tabid/133332/Default.aspx)
- \_\_\_\_\_. 2016. A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. Nairobi, PNUE. [en.unesco.org/emergingpollutants](http://en.unesco.org/emergingpollutants)
- \_\_\_\_\_. s.d. Cleaner & Safer Production. Site Internet du PNUE. [www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/tabid/55543/Default.aspx](http://www.unep.org/resourceefficiency/Business/CleanerSaferProduction/tabid/55543/Default.aspx)
- PNUE/FI (Programme des Nations Unies pour l'environnement/Initiative Finance). 2007. Half Full or Half Empty? A Set of Indicative Guidelines for Water-Related Risks and an Overview of Emerging Opportunities for Financial Institutions. Genève, Suisse, PNUE/FI. [www.unepfi.org/publications/water/](http://www.unepfi.org/publications/water/)
- PNUE-DHI/IUCN/TNC/WRI (Programme des Nations Unies pour l'environnement-DHI Partenariat/Union internationale pour la conservation de la nature/The Nature Conservancy/World Resources Institute). 2014. Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based Management Approaches for Water-related Infrastructure Projects. Nairobi, PNUE. [www.unepdhi.org/-/media/microsite\\_unepdhi/publications/documents/unep/web-unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en-20140814.pdf](http://www.unepdhi.org/-/media/microsite_unepdhi/publications/documents/unep/web-unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en-20140814.pdf)
- Poongothai, S., Ravikrishnan, R. and Murthy, P. 2007. Endocrine disruption and perspective human health implications: A review. The Internet Journal of Toxicology, Vol. 4, No. 2. [ispub.com/IJTO/4/2/3638](http://ispub.com/IJTO/4/2/3638)
- Postel, S. S. 2012. "Sewer Mining" – Efficient Water Recycling Coming to a Community near You. National Geographic website. [voices.nationalgeographic.com/2012/01/16/sewer-mining-coming-to-a-community-near-you/](http://voices.nationalgeographic.com/2012/01/16/sewer-mining-coming-to-a-community-near-you/)
- PR Newswire. 2013. Constructed Wetland System Wins National Honor, Saves \$26 Million. [www.prnewswire.com/news-releases/constructed-wetland-system-wins-national-honor-saves-26-million-203799381.html](http://prnewswire.com/news-releases/constructed-wetland-system-wins-national-honor-saves-26-million-203799381.html)
- Prüss-Üstün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford Jr, J. M., Cumming, O., Curtis, V., Bonjour, S., Dangour, A. D., De France, J., Fewtrell, L., Freeman, M. M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Johnston, B. R., Mathers, C., Mäusezahl, D., Medlicott, K., Neira, M., Stocks, M., Wolf, J. and Cairncross, S. S. 2014. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries. Tropical Medicine and International Health, Vol. 19, No. 8, pp. 894–905. Doi: 10.1111/tmi.12329
- Qadir, M., Bahri, A., Sato, T. and Al-Karadsheh, E. E. 2010. Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. Irrigation and Drainage Systems, Vol. 24, No. 1, pp. 37–51. Doi: 0.1007/s10795-009-9081-y
- Qadir, M., Boelee, E., Amerasinghe, P. and Danso, G. 2015a. Costs and benefits of using wastewater for aquifer recharge. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), Wastewater – Economic asset in an urbanizing world. Springer Netherlands.
- Qadir, M., Mateo-Sagasta, J., Jiménez, B., Siebe, C., Siemens J. and Hanjra, M. A. 2015b. Environmental risks and cost-effective risk management in wastewater use systems. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), Wastewater – Economic asset in an urbanizing world. Springer Netherlands.
- Qu, X., Alvarez, P. J. J. and Li, Q. 2013. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. Water Research, Vol. 47, No. 12, pp. 3931–3946. [dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058](http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058)

- Raghav, M., Eden, S., Mitchell, K. and Witte, B. 2013. Contaminants of emerging concern in water. Arroyo 2013. Tucson, Ariz., Water Resources Research Center, College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona.
- Rao, K., Hanjra, M. A., Drechsel, P. and Danso, G. 2015. Business models and economic approaches supporting water reuse. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. 2008. Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment. IWMI Research Report No. 127. Colombo, International Water Management Institute (IWMI).
- RECPnet (Resource Efficient and Cleaner Production). s.d.a. Capturing and Promoting Knowledge on Resource Efficient and Cleaner Production. Factsheet. Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel/Programme des Nations Unies pour l'environnement (l'ONUDI/PNUE). [recpnet.org/wp-content/uploads/2016/05/KMS\\_Capturing-and-Promoting-Knowledge-on-RECP.pdf](http://recpnet.org/wp-content/uploads/2016/05/KMS_Capturing-and-Promoting-Knowledge-on-RECP.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d.b. RECP Experiences at Musoma Textile Mills Tanzania Limited (MUTEX) – Tanzania. RECP Experiences. Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel/Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE/ONUDI). [africa.recnet.org/uploads/resource/3dd4f3974e38a68ecb59b16ff6cc158d.pdf](http://africa.recnet.org/uploads/resource/3dd4f3974e38a68ecb59b16ff6cc158d.pdf)
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, F. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, Vol. 14, No. 2, art. 32. [www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/](http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/)
- Rodríguez, D. J., Delgado, A., DeLaquil, P. and Sohns, A. 2013. Thirsty Energy (l'Énergie assoiffée). *Water Papers*. Washington, DC, Banque mondiale. [documents.worldbank.org/curated/en/2013/01/17932041/thirsty-energy](http://documents.worldbank.org/curated/en/2013/01/17932041/thirsty-energy)
- Rojas Ortuste, F. 2014. Políticas e Institucionalidad en Materia de Agua Potable y Saneamiento en América Latina y el Caribe [politiques et institutions relatives à la fourniture d'eau potable et l'assainissement en Amérique latine et dans les Caraïbes]. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). (En espagnol.) [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36776/52014277\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36776/52014277_es.pdf)
- Rosenwinkel, K. H., Borchmann, A., Engelhart, M., Eppers, R., Jung, H., Marzinkowski, J. and Kipp, S. 2013. Closing loops – Industrial water management in Germany. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri, and J. Anderson (eds), *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA Publishing.
- Rossi, A. 2009. Matanza Riachuelo River Basin Authority. Circular of the Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean, No. 29. Santiago, Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). [repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/Carta29\\_en.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/Carta29_en.pdf)
- Rothstein, B., and Tannenbergh, M. M. 2015. Making Development Work: The Quality of Government Approach. Stockholm, Expertgruppen för Biståndsanalys (EBA). [eba.se/wp-content/uploads/2015/12/Making\\_development\\_work\\_07.pdf](http://eba.se/wp-content/uploads/2015/12/Making_development_work_07.pdf)
- SADC (Communauté de développement de l'Afrique australe). 2000. Revised Protocol on Shared Watercourses in the Southern African Development Community. Gaborone,, Communauté de développement de l'Afrique australe. [www.sadc.int/documents-publications/show/1975](http://www.sadc.int/documents-publications/show/1975)
- Saldias Zambrana, C. 2016. Analyzing the Institutional Challenges for the Agricultural (Re)use of Wastewater in Developing Countries. PhD Dissertation. Ghent, Belgium, University of Ghent.
- Salgot, M., Huertas, E., Weber, S., Dott, W. and Hollender, J. 2006. Wastewater reuse and risk: Definition of key objectives. *Desalination*, Vol. 187, No. 1–3, pp. 29–40.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. and Zahoor, A. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, pp. 1–13. [dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007)
- Schoumans, O. F., Bouraoui, F., Kabbe, C., Oenema, O. and Van Dijk, K. C. 2015. Phosphorus management in Europe in a changing world. *Ambio*, Vol. 44, No. 2, pp. 180–192. [doi.org/10.1007/s13280-014-0613-9](https://doi.org/10.1007/s13280-014-0613-9)
- Schreinemachers, P. and Tipraqsa, P. 2012. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*, Vol. 37, No. 6, pp. 616–626.

- Schuster-Wallace, C. J., Wild, C. and Metcalfe, C. 2015. Valuing Human Waste as an Energy Resource: A Research Brief Assessing the Global Wealth in Waste. Hamilton, Ont., United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). [inweh.unu.edu/vast-energy-value-human-waste](http://inweh.unu.edu/vast-energy-value-human-waste)
- Schutte, F. 2008. Water reuse in Central and Southern regions of Africa. B. Jiménez and T. Asano (eds), *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. London, IWA Publishing.
- Scott, C., Drechsel, P., Raschid-Sally, L., Bahri, A., Mara, D., Redwood, M. M. and Jiménez, B. 2010. Wastewater irrigation and health: Challenges and outlook for mitigating risks in low-income countries. P. Drechsel, C. A. Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood and A. Bahri (eds), *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risks in Low-income Countries*. London/Sterling, Va., Earthscan. [www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater\\_Irrigation\\_and\\_Health\\_book.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/Wastewater_Irrigation_and_Health_book.pdf)
- SEI (Stockholm Environment Institute). Piloting Enclosed Long-term Composting in an Indian village. Stockholm, SEI. [www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/sei-fs-2014-biharecosan-mohaddipur.pdf](http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/sei-fs-2014-biharecosan-mohaddipur.pdf)
- Sengupta, S., Nawaz, T. and Beaudry, J. 2015. Nitrogen and phosphorus recovery from wastewater. *Current Pollution Reports*, Vol. 1, No. 3, pp. 155–166. [link.springer.com/article/10.1007/s40726-015-0013-1](http://link.springer.com/article/10.1007/s40726-015-0013-1)
- Sheikh, S. S. 2008. Public Toilets in Delhi: An Emphasis on the Facilities for Women in Slum/Resettlement Areas. CCS Working Paper No. 192. Summer Research Internship Programme 2008, Centre for Civil Society. [ccs.in/internship\\_papers/2008/Public-toilets-in-Delh-192.pdf](http://ccs.in/internship_papers/2008/Public-toilets-in-Delh-192.pdf)
- Shiklomanov, I. A. 1999. World water resources and their use a joint SHI/UNESCO product. Database. <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/>
- SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios). 2003. El tratamiento de aguas servidas en Chile [Traitement des eaux usées au Chili]. Aguas Claras [Les eaux claires], No. 2. Santiago, SISS, Gouvernement du Chili. (En espagnol) [www.siss.gob.cl/577/articles-4482\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-4482_recurso_1.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015. Informe de Gestión del Sector Sanitario 2014 [Rapport de gestion du secteur de l'assainissement l'assainissement 2014]. Santiago, SISS, Gouvernement du Chili. (En espagnol)
- SSWM (Sustainable Sanitation and Water Management). s.d. Reuse Water between Businesses. SSWM website. [www.sswm.info/category/implementation-tools/water-use/hardware/optimisation-water-use-industry/reuse-water-between](http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-use/hardware/optimisation-water-use-industry/reuse-water-between)
- State of Green. 2015. Sustainable Urban Drainage System: Using Rainwater as a Resource to Create Resilient and Liveable Cities. Think Denmark: White paper for a green transition. Copenhagen, State of Green. [stateofgreen.com/files/download/8247](http://stateofgreen.com/files/download/8247)
- Statistique Canada. 2014. Utilisation industrielle de l'eau l'eau 2011. Ottawa, Statistique Canada. [publications.gc.ca/collections/collection\\_2014/statcan/16-401-x/16-401-x2014001-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/statcan/16-401-x/16-401-x2014001-eng.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d. Enquête sur l'eau dans les industries (EEI) Site Internet de Statistique Canada. [www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&Id=253674](http://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV.pl?Function=getSurvey&Id=253674)
- Steen, I. 1998. Management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium*, Vol. 217, pp. 25–31.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, J., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. and Sorlin, S. S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Vol. 347, No. 6223. Doi: 10.1126/science.1259855
- Sterner T. 2003. *Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management*. Washington, DC, Resource for the Future
- Strande, L., Ronteltap, M. and Brdjanovic, D. (eds). 2014. *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*. London, IWA Publishing.
- Taiwo, A. M. 2011. Composting as a sustainable waste management technique in developing countries. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 4, pp. 93–102. Doi: 10.3923/jest.2011.93.102
- Taiwo, A. M., Olujimi, O. O., Bamgbose, O. and Arowolo, T. A. 2012. Surface water quality monitoring in Nigeria: Situational analysis and future management strategy. K. Voudoris (eds), *Water Quality Monitoring and Assessment*. InTech. [www.intechopen.com/books/water-quality-monitoring-and-assessment/surface-water-quality-monitoring-in-nigeria-situational-analysis-and-future-management-strategy](http://www.intechopen.com/books/water-quality-monitoring-and-assessment/surface-water-quality-monitoring-in-nigeria-situational-analysis-and-future-management-strategy)
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. and David Stensel, H. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th edition. New York, Metcalf & Eddy Inc.



- Thomson et al. 1998. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Toronto, Ont., Department of Architectural Science, Ryerson University.
- Trachsel, M. 2008. Consensus Platform "Endocrine Disruptors in Waste Water and in the Aquatic Environment": Final Document. Bern, Swiss National Science Foundation (SNSF).
- Transparency International. 2008. Global Corruption Report Report 2008: Corruption in the Water Sector. Cambridge, UK, Cambridge University Press. [www.transparency.org/whatwedo/publication/global\\_corruption\\_report\\_2008\\_corruption\\_in\\_the\\_water\\_sector](http://www.transparency.org/whatwedo/publication/global_corruption_report_2008_corruption_in_the_water_sector)
- Tréhu, É. 1905. Des pouvoirs de la municipalité parisienne en matière d'assainissement, l'application de la loi du 10 juillet 1894 sur l'assainissement de Paris et de la Seine. Thèse de doctorat. Faculté de Droit, Université de Paris.
- Trent, J. 2012. Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA) – A Feasibility Study for Wastewater to Biofuels. NASA Ames Research Center project report for the California Energy Commission. [www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-143/CEC-500-2013-143.pdf](http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-143/CEC-500-2013-143.pdf)
- TSG (TechKNOWLEDGEy Strategic Group). 2014. 2014 Water Market Review. Boulder, Colo., TSG. [www.tech-strategy.com/index.htm](http://www.tech-strategy.com/index.htm)
- UE (Union européenne). 1991. Directive du Conseil relative au traitement des eaux urbaines résiduaires La directive, 91/271/CEE. Journal officiel des Communautés européennes, L L 135/40.
- \_\_\_\_\_. 2000. Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de la politique de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes, L L 327/1.
- \_\_\_\_\_. 2008. Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives. Journal officiel des Communautés européennes, L L 312/3.
- Umweltbundesamt GmbH. 2015. Technical Assessment of the Implementation of Council Directive concerning Urban Waste Water Treatment (91/271/EEC). Brussels, Umweltbundesamt GmbH. [ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/implementation/pdf/Technical%20assessment%20UWWTD.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/implementation/pdf/Technical%20assessment%20UWWTD.pdf)
- UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture). 2011. Planète Science Bulletin trimestriel d'information sur les sciences exactes et naturelles, Vol. 9, n° 4, pp. 1–24. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002122/212222f.pdf>
- \_\_\_\_\_. 2015. UNESCO Project on Emerging Pollutants in Wastewater Reuse in Developing Countries. Brochure. Paris, UNESCO. [unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235241E.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235241E.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016a. Harnessing Scientific Research Based Outcomes for Effective Monitoring and Regulation of Emerging Pollutants: A Case Study of Emerging Pollutants in Water and Wastewater in Nigeria. Series of Technical and Policy Case Studies. UNESCO-IHP International Initiative on Water Quality (IIWQ). [en.unesco.org/emergingpollutants/strengthening-scientific-research-and-policy/case-studies](http://en.unesco.org/emergingpollutants/strengthening-scientific-research-and-policy/case-studies)
- \_\_\_\_\_. 2016b. Emerging Pollutants in Water and Wastewater: Technical and Policy Case Studies. UNESCO Project on Emerging Pollutants in Wastewater Reuse in Developing Countries. [en.unesco.org/emergingpollutants](http://en.unesco.org/emergingpollutants)
- UNESCO-PHI/GTZ (Programme hydrologique international de l'Organisation des Nations Unies/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2006. Capacity Building for Ecological Sanitation – Concepts for Ecologically Sustainable Sanitation in Formal and Continuing Education. Paris/Eschborn, Germany, UNESCO-IHP/GTZ. [unesdoc.unesco.org/images/0014/001463/146337e.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001463/146337e.pdf)
- UNICEF/OMS (Fonds des Nations Unies pour l'enfance/Organisation mondiale de la santé). 2000. Évaluation mondiale des conditions d'alimentation en eau et d'assainissement – Rapport 2000. New York/Genève, UNICEF/OMS. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2009. Diarrhée : Pourquoi des enfants continuent de mourir et ce que l'on peut faire. New York/Genève, UNICEF/OMS. [www.unicef.org/media/files/Final\\_Diarrhoea\\_Report\\_October\\_2009\\_final.pdf](http://www.unicef.org/media/files/Final_Diarrhoea_Report_October_2009_final.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2011. Drinking Water: Equity, safety and sustainability. New York/Geneva, UNICEF/WHO WHO Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. [https://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/report\\_wash\\_low.pdf](https://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/report_wash_low.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2012. Progress on Drinking Water and Sanitation, 2012 Update. New York/Genève, UNICEF/OMS Programme conjoint de surveillance de l'approvisionnement en eau et l'assainissement.
- \_\_\_\_\_. 2014. Progress on Drinking Water and Sanitation, 2014 Update. New York/Genève, UNICEF/OMS Programme conjoint de surveillance de l'approvisionnement en eau et l'assainissement.

- \_\_\_\_\_. 2015. Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment. New York/Genève, UNICEF/OMS Programme conjoint de surveillance de l'approvisionnement en eau et l'assainissement. [www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMP-Update-report-2015\\_English.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-Update-report-2015_English.pdf)
- Urbis Limited. 2007. A Study on Green Roof Application in Hong Kong. Hong Kong, Urbis Limited. [www.archsd.gov.hk/media/11630/green\\_roof\\_study\\_final\\_report.pdf](http://www.archsd.gov.hk/media/11630/green_roof_study_final_report.pdf)
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture. Washington, DC, US EPA. [www.epa.gov/nps/national-management-measures-control-nonpoint-source-pollution-agriculture](http://www.epa.gov/nps/national-management-measures-control-nonpoint-source-pollution-agriculture)
- \_\_\_\_\_. 2004. Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, US EPA. [nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30006MKD.PDF?Dockey=30006MKD.PDF](http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30006MKD.PDF?Dockey=30006MKD.PDF)
- \_\_\_\_\_. 2012. 2012 Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, US EPA. [nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf](http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2015. Steam Electric Power Generating Effluent Guidelines – 2015 Final Rule. Site Internet de l'US EPA. [www.epa.gov/eg/steam-electric-power-generating-effluent-guidelines-2015-final-rule](http://www.epa.gov/eg/steam-electric-power-generating-effluent-guidelines-2015-final-rule)
- \_\_\_\_\_. 2016. Clean Watershed Needs Survey 2012 - Report to Congress. Washington, DC, US EPA. [www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cwns\\_2012\\_report\\_to\\_congress-508-opt.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cwns_2012_report_to_congress-508-opt.pdf)
- \_\_\_\_\_. s.d.a. Glossary of Climate Change Terms. Site Internet de l'US EPA. [www3.epa.gov/climatechange/glossary.html#W](http://www3.epa.gov/climatechange/glossary.html#W)
- \_\_\_\_\_. s.d.b. Terminology Service (TS): Vocabulary Catalogue. Site Internet de US EPA. [ofmpub.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary](http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary)
- \_\_\_\_\_. s.d.c. Clean Water State Revolving Fund (CWSRF). Site Internet de l'US EPA. [www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/cwsrfinfographic-030116.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/cwsrfinfographic-030116.pdf) [www.epa.gov/cwsrf](http://www.epa.gov/cwsrf)
- USGS (United States Geological Survey). s.d. Contaminants of Emerging Concern in the Environment. Site Internet de l'USGS. [toxics.usgs.gov/investigations/cec/index.php](http://toxics.usgs.gov/investigations/cec/index.php)
- Van de Helm, A. W. C., Bhai, A., Coloni, F. Koning, W. J. G. and De Bakker, P. T.** 2015. Developing Water and Sanitation Services in Refugee Settings from Emergency to Sustainability – The Case of Zaatari Camp in Jordan. Proceeding of the IWA Water Development Congress and Exhibition 2015, Jordan, 18–22 October 2015. London, International Water Association (IWA). [repository.tudelft.nl/assets/uuid:7953d49d-194a-4ecb-81d8-63afcb3f6f60/323457.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:7953d49d-194a-4ecb-81d8-63afcb3f6f60/323457.pdf)
- Van Dien, F. and Boone, P.** 2015. Constructed Wetlands Pilot at Sher Ethiopia PLC. Evaluation Report. ECOFYT. [www.hoarec.org/images/Evaluation%20Report%20Constructed%20Wetland%20Pilot%20at%20Sher%20Ethiopia%20PLC.pdf](http://www.hoarec.org/images/Evaluation%20Report%20Constructed%20Wetland%20Pilot%20at%20Sher%20Ethiopia%20PLC.pdf)
- Van Houtte, E. and Verbauwheide, J.** 2013. Long-time membrane experience at Torreele's water re-use facility in Belgium. *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, No. 22–24, pp. 4253–4262. [www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19443994.2013.769487](http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19443994.2013.769487)
- Van Loosdrecht, M. M. C. M. M. and Brdjanovic, D.** 2014. Anticipating the next century of wastewater treatment. *Science*, Vol. 344, No. 6191, pp. 1452–1453. Doi: 10.1126/science.1255183
- Van Vuuren, D. P., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W.** 2010. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change*, Vol. 20, No. 3, pp. 428–439. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.004
- Van Weert, F., Van der Gun, J., Reckman, J.** 2009. Global Overview of Saline Groundwater Occurrence and Genesis. Utrecht, The Netherlands, International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC).
- Veolia/IFPRI (International Food Policy Research Institute).** 2015. The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality. White Paper. Veolia /IFPRI. [www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water](http://www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water)
- Vinnerås, B.** 2001. Faecal Separation and Urine Diversion for Nutrient Management of Household Biodegradable Waste and Wastewater. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. [pub.epsilon.slu.se/3817/1/vinneras\\_b\\_091216.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/3817/1/vinneras_b_091216.pdf)
- Visvanathan C., Ben Aim, R. and Parameshwaran, K.** 2000. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 1–48. Doi: 10.1080/10643380091184165

- Von Muench, E. E. 2009. Compilation of 24 SuSanA case studies: Pre-Print for the 10th SuSanA meeting. Eschborn, Germany, Sustainable Sanitation Alliance. [www.susana.org/en/resources/library/details/1937](http://www.susana.org/en/resources/library/details/1937)
- Von Sperling, M. M. 2007. Wastewater Characteristic, Treatment and Disposal. Vol. I of Biological Wastewater Treatment Series. London, IWA Publishing. [www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SPERLING%202007%20Wastewater%20Characteristics,%20Treatment%20and%20Disposal.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SPERLING%202007%20Wastewater%20Characteristics,%20Treatment%20and%20Disposal.pdf)
- Walters, J., Oelker, G. and Lazarova, V. 2013. Producing designer recycled water tailored to customer needs. V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri and J. Anderson (eds). *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*. London, IWA: Publishing.
- Wang, H. and Ren, Z. J. 2014. Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: A review. *Water Research*, Vol. 66, pp. 219–232.
- Wang, H., Wang, T., Zhang, B., Li, F., Toure, B., Omosa, I. B., Chiramba, T., Abdel-Monem, M. M. and Pradhan, M. M. 2014. Water and wastewater treatment in Africa – Current practices and challenges. *Clean – Soil, Air, Water*, Vol. 42, No. 8, pp. 1029–1035. [onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201470073/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201470073/pdf)
- Water Online. 2014. Texas Leads the Way with First Direct Potable Reuse Facilities in U.S. Water Online, 16 September 2014. [www.wateronline.com/doc/texas-leads-the-way-with-first-direct-potable-reuse-facilities-in-u-s-0001](http://www.wateronline.com/doc/texas-leads-the-way-with-first-direct-potable-reuse-facilities-in-u-s-0001)
- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). s.d. Scaling up Industrial Water Reuse. WBCSD website. [www.wbcd.org/work-program/sector-projects/water/waterreuse.aspx](http://www.wbcd.org/work-program/sector-projects/water/waterreuse.aspx)
- WBCSD/IWA (World Business Council for Sustainable Development/International Water Association). s.d. Anglo American plc eMalahleni Water Reclamation Project. Case Study. WBCSD/IWA.
- WEF (Forum économique mondial). 2016. The Global Risks Report 2016. Geneva, Switzerland, WEF. [wef.ch/risks2016](http://wef.ch/risks2016)
- West Basin Municipal Water District. s.d. Recycled Water. West Basin Municipal Water District website. [www.westbasin.org/water-reliability-2020/recycled-water/about-recycled-water.html](http://www.westbasin.org/water-reliability-2020/recycled-water/about-recycled-water.html)
- Wichelns, D., Drechsel, P. and Qadir, M. M. 2015. Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. P. Dreschel, M. Qadir and D. Wichelns (eds), *Wastewater – Economic Asset in an Urbanizing World*. Springer Netherlands.
- WIN (Water Integrity Network). 2016. Water Integrity Global Outlook 2016. Berlin, WNI.
- Winblad, U. and Simpson-Hébert, M. (eds). 2004. *Ecological Sanitation: Revised and Enlarged Edition*. Stockholm, Stockholm Environment Institute (SEI).
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernandez, F. and Torricelli, R. 2010. The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture. FAO Water Report No. 35. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). [www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e00.htm](http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e00.htm)
- Winsemius, H. C. and P. J. Ward. 2015. Projections of future urban damages from floods. Personal communication to OECD.
- Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., Van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J. C. J., Ligtoet, W., Lucas, P. L., Van Vuuren, D. P. and Ward, P. J. 2016. Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, Vol. 6, pp. 381–385. Doi: 10.1038/nclimate2893
- Woodall, A. 2015. Innovative Water Use in Texas. Presentation held during the Groundwater Protection Council 2015 Annual Forum, 27-30 September 2015, Oklahoma City, OK, USA. [www.gwpc.org/sites/default/files/event-sessions/Woodall\\_Allison.pdf](http://www.gwpc.org/sites/default/files/event-sessions/Woodall_Allison.pdf)
- World Water. 2013. Fresh Thinking to Improve Business and Sustainability. [msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_08d9/0901b803808d92c4.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-50111.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08d9/0901b803808d92c4.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-50111.pdf&fromPage=GetDoc)
- WssTP (Water Supply and Sanitation Technology Platform). 2013. Water Reuse Report: Water Supply and Sanitation Technology Platform, Brussels. An Executive Summary. [wsstp.eu/wp-content/uploads/sites/102/2013/11/ExS-Water-Reuse.pdf](http://wsstp.eu/wp-content/uploads/sites/102/2013/11/ExS-Water-Reuse.pdf)

- WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau). 2006. 2ème 2e Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau : L'eau : une responsabilité partagée Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).
- \_\_\_\_\_. 2012. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2012 : Gérer l'eau dans des conditions d'incertitude et de risque. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).
- \_\_\_\_\_. 2014. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2014 : Eau et énergie. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).
- \_\_\_\_\_. 2015. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2015 : L'eau pour un monde durable. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). [unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf](https://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf)
- \_\_\_\_\_. 2016. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'eau et l'emploi. Paris, Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).
- \_\_\_\_\_. s.d. Faits et chiffres. Fait Fait 36 : Eaux usées industrielles. Site Internet de l'UNESCO. [www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/](http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/)
- WWF (Fonds mondial pour la nature). 2015. Das Grosse Wegschmeissen: Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland [L'immense gaspillage : Au terrain à l'utilisateur final : Ampleur et impact environnemental du gaspillage alimentaire en Allemagne]. WWF Allemagne. (En allemand.) [www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF\\_Studie\\_Das\\_grosse\\_Wegschmeissen.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Studie_Das_grosse_Wegschmeissen.pdf)
- Zarate, E., Aldaya, M., Chico, D., Pahlow, M., Flachsbarth, I., Franco, G., Zhang, G., Garrido, A., Kuroiwa, J., Cesar, J., Palhares, P. and Arévalo Uribe, D. 2014. Water and agriculture. B. Willaarts, A. Garrido and R. Llamas (eds), Water for Food Security and Well-being in Latin America and the Caribbean. Social and Environmental Implications for a Globalized Economy. Oxon, UK/New York, Routledge. [www.fundacionbotin.org/paginas-interiores-de-una-publicacion-de-la-fundacion-botin/water-for-food-security-and-well-being-in-latin-america-and-the-caribbean.html](http://www.fundacionbotin.org/paginas-interiores-de-una-publicacion-de-la-fundacion-botin/water-for-food-security-and-well-being-in-latin-america-and-the-caribbean.html)



# ANNEXE 1 LEXIQUE

*Il peut y avoir des définitions différentes, voire incompatibles, pour les termes relatifs aux eaux usées. Les définitions suivantes ont été adaptées à partir d'un certain nombre d'ouvrages publiés afin d'assurer une compréhension commune et la cohérence dans la terminologie utilisée dans le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) 2017.*

**Eau de ruissellement agricole** : eau des champs agricoles qui ne s'infiltre pas dans le sol et qui ruisselle comme un écoulement terrestre.

**Biosolides** : boues d'épuration convenablement traitées et utilisées comme engrais pour améliorer et maintenir la productivité des sols et stimuler la croissance des plantes.

**Eaux-vannes** : eaux usées qui proviennent des toilettes, collectées séparément des eaux d'égout. Elles contiennent les urines, les matières fécales, l'eau de chasse et le papier de toilette.

**Système centralisé de traitement des eaux usées** : système de gestion qui comprend des égouts collecteurs et une seule station de traitement utilisée pour la collecte et le traitement des eaux usées d'une zone de service spécifique.

**Économie circulaire** : économie dans laquelle il existe un équilibre entre le développement économique et la protection de l'environnement et des ressources. Elle met l'accent sur l'utilisation et le recyclage les plus efficaces des ressources, ainsi que sur la protection de l'environnement. Une économie circulaire est caractérisée par une faible consommation d'énergie et d'autres ressources, une faible émission de polluants, une production minimale de déchets et une efficacité élevée. Elle implique l'adoption d'une méthode de production plus propre dans les entreprises, ainsi que le développement de parcs éco-industriels et la planification intégrée des ressources pour le développement dans l'industrie, l'agriculture et les zones urbaines.

**Contaminant** : substance biologique, physique, chimique, ou radiologique qui a un effet néfaste sur l'eau, le sol ou l'air. La présence de contaminants ne signifie pas nécessairement que l'eau présente des risques pour la santé.

**Réseau d'égout unitaire** : système d'égout conçu pour collecter les eaux usées urbaines (provenant de sources domestiques, industrielles et autres) et les eaux de ruissellement urbain et les transporter vers la station de traitement des eaux usées (ou d'autres moyens d'évacuation).

**Système décentralisé de traitement des eaux usées** : système utilisé pour la collecte, le traitement et la dispersion ou la récupération des eaux usées d'une petite communauté ou zone de service.

**Eaux usées domestiques** : ensemble constitué d'eaux-vannes, d'eaux grises et éventuellement d'autres types d'eaux usées provenant des activités ménagères dans les implantations résidentielles.

**Contaminants émergents** : tout produit chimique synthétique ou naturel ou tout microorganisme qui n'est pas couramment surveillé dans l'environnement, mais qui a le potentiel de pénétrer dans l'environnement et de provoquer des effets néfastes connus ou soupçonnés sur l'écosystème ou la santé humaine.

**Perturbateurs endocriniens** : composés naturels ou synthétiques qui interfèrent avec la synthèse, la sécrétion, le transport, la liaison, l'action ou l'élimination des hormones naturelles des organismes vivants qui sont responsables du maintien de l'homéostasie, de la reproduction, du développement et du comportement.

**Système endocrinien** : l'ensemble des glandes humaines qui produisent des hormones qui régulent le métabolisme, la croissance et le développement, la fonction tissulaire, la reproduction, l'humeur, le sommeil et d'autres fonctions physiologiques.

**Eutrophisation** : processus par lequel une masse d'eau devient enrichie en nutriments dissous (c.-à-d. l'azote et le phosphore) qui stimulent la croissance de la vie des plantes aquatiques, entraînant habituellement l'épuisement de l'oxygène dissous.

**Eau grise** : eau usée générée par une machine à laver, une baignoire, une douche ou un évier de salle de bains, collectée séparément des eaux d'égout. Elle ne comprend pas les eaux usées provenant d'une toilette.

**Pollution thermique** : l'eau plus chaude que l'eau ambiante qui est libérée par les systèmes industriels (par exemple le refroidissement dans des centrales thermiques), la modification de la température du corps d'eau récepteur de telle sorte qu'elle a un impact sur l'environnement local.

**Pollution par les métaux lourds** : pollution par des métaux ayant une masse atomique élevée provenant de plusieurs sources, telles que les effluents industriels.

**Eaux usées industrielles** : eaux déchargées après avoir été utilisées dans, ou produites par, des procédés de production industrielle.

**Micropolluants** : polluants qui sont présents dans de très basses concentrations dans l'eau (c.-à-d. le microgramme/microlitre ou même moins) tels que les produits pharmaceutiques, les ingrédients des produits chimiques domestiques, les produits chimiques utilisés dans les petites entreprises ou industries, les polluants pharmaceutiques environnementaux persistants (PPEP), les pesticides ou les hormones.

**Eaux usées urbaines** : eaux usées provenant de sources domestiques, industrielles, commerciales et institutionnelles au sein d'un établissement humain ou d'une communauté donnée. La composition des eaux usées urbaines peut varier considérablement, reflétant l'éventail de contaminants libérés par les différentes combinaisons de sources.

**Pollution diffuse** : pollution résultant du ruissellement terrestre, des précipitations, des dépôts atmosphériques ou des drains.

**Système de traitement sur place des eaux usées** : système s'appuyant sur des processus naturels ou mécaniques pour la collecte, le traitement, la dispersion ou la récupération des eaux usées d'un lieu spécifique.

**Agents pathogènes ou microorganismes pathogènes** (par exemple les bactéries, les virus, les parasites ou les champignons) : microorganismes pouvant causer des maladies chez les êtres humains.

**Polluants organiques persistants (POP)** : substances chimiques toxiques qui ont des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement, y compris les biphényles polychlorés (BPC), le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), et les dioxines. Les POP restent intacts dans l'environnement pendant des durées exceptionnellement longues et font éventuellement l'objet d'une bioaccumulation dans les tissus adipeux des organismes vivants.

**Pollution ponctuelle** : tout moyen discernable et confiné, y compris sans s'y limiter tout tuyau, fossé, canal, tunnel, conduit, puits, fissure, récipient, élevage intensif, ou navire ou autre embarcation flottante à partir de laquelle des polluants sont ou peuvent être rejetés. Ce terme n'englobe pas les décharges d'eaux pluviales urbaines diffuses et les rejets agricoles.

**Pollution** : résultat de l'infiltration de substances ou contaminants dans les masses d'eau entraînant une dégradation de la qualité de l'eau. La pollution de l'eau peut avoir des causes naturelles d'origine environnementale (par exemple l'arsenic) ou provenir d'activités anthropiques.

**Eau recyclée** : eau usée traitée (adaptée à l'usage prévu) pouvant être utilisée dans des conditions contrôlées à des fins bénéfiques au sein d'un même établissement ou d'une même industrie.

**Eau de récupération** : eau usée traitée (adaptée à l'usage prévu) pouvant être utilisée dans des conditions contrôlées à des fins bénéfiques telles que l'irrigation.

**Pollution causée par les sédiments** : minéraux, sable et limon infiltrés dans l'eau à la suite de l'érosion de la terre, créant potentiellement des problèmes pour les organismes aquatiques.

**Boues de fosses septiques** : sous-produit des eaux usées domestiques riche en nutriments après le prétraitement qui s'accumule dans une fosse septique ou (moins couramment) des latrines à fosse.

**Eaux d'égout** : eaux usées et excréments (eaux-vannes) s'écoulant dans les égouts.

**Réseau d'assainissement** : tuyaux, pompes et autres accessoires ou infrastructures destinés à la collecte et au transport des eaux d'égout depuis leurs points de production jusqu'aux points de chute souhaités (par exemple, station de traitement).

**Boues** : matières organiques riches en nutriments résultant du traitement des eaux usées domestiques dans une installation de traitement des eaux usées.

**Eau de ruissellement urbain** : ruissellement à la surface des eaux de pluie et d'autres formes de précipitations (par exemple fontes de neige) dans les zones urbaines, où l'essentiel de la surface terrestre est couverte par des chaussées, des bâtiments et autres surfaces compactées qui ne permettent pas l'infiltration d'eau dans le sol, augmentant ainsi le volume des ruissellements. Ces ruissellements constituent une source majeure d'inondations urbaines et de pollution dans les communautés urbaines.

**Eaux usées urbaines** : elles comprennent à la fois les eaux usées municipales et les eaux de ruissellement urbain, et peuvent ainsi contenir un large éventail de contaminants.

**Eaux usées ou effluents** : une combinaison d'un ou de plusieurs des effluents domestiques suivants : eaux-vannes et eaux grises ; l'eau des commerces et des institutions, y compris les hôpitaux ; les effluents industriels, les eaux pluviales et d'autres eaux de ruissellement urbain ; et les eaux de ruissellement agricoles, horticoles et aquacoles<sup>13</sup>.

**Sous-produits des eaux usées** : matières (par exemples nutriments, métaux) et énergie pouvant être récupérées des eaux usées et utilisées.

**Gestion des eaux usées** : elle comprend la prévention ou la réduction de la pollution à la source (en termes de charge de pollution et de volume des eaux usées produit), la collecte et l'élimination des contaminants des flux d'eaux usées (c.-à-d. le traitement), et l'utilisation bénéfique ou l'élimination des eaux usées traitées et de leurs sous-produits<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Quoique les eaux de ruissellement urbain et agricole ne soient pas considérées comme des eaux usées dans certaines définitions, (par exemple lorsque les eaux usées s'entendent de « l'eau après qu'elle ait subi quelque utilisation »), elles sont considérées comme une forme d'eaux usées aux fins du présent rapport, en partie en raison du lien direct avec la réalisation de l'objectif de développement durable 6.3 à savoir « améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion de déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses (...) ».

<sup>14</sup> Un rôle supplémentaire du cycle de gestion des eaux usées est d'en atténuer les impacts négatifs sur la santé humaine, l'économie et l'environnement.

**Nutriments issus des eaux usées :** cette expression renvoie expressément à la présence de nitrogène et de phosphore dans les eaux usées domestiques, les eaux de ruissellement agricole (y compris de l'élevage et de la transformation alimentaire) et dans certains effluents industriels. Les nutriments peuvent provoquer une croissance excessive des algues (c.-à-d. l'eutrophisation) dans les masses d'eau, mais ils sont également un sous-produit récupérable des eaux usées destiné à l'agriculture et l'aquaculture.

**Traitement des eaux usées :** un processus ou un enchaînement de processus qui élimine les contaminants des eaux usées afin qu'elles puissent être utilisées de nouveau en toute sécurité (traitement adapté) ou réintégrées dans le cycle de l'eau avec un minimum d'impacts environnementaux. Il existe plusieurs niveaux de traitement des eaux, dont le choix est fonction du type de contaminants, de la charge de pollution, et de l'utilisation finale anticipée de l'effluent.

**Traitement préliminaire ou prétraitement :** élimination des constituants des eaux usées tels que les chiffons, les bâtonnets, les objets flottants, le sable et la graisse, susceptibles de causer des problèmes de maintenance ou d'exploitation pendant les opérations et les processus de traitement.

**Traitement primaire :** élimination d'une partie des matières solides et organiques en suspension dans les eaux usées, qui peut ou non inclure une étape chimique ou une filtration.

**Traitement secondaire :** élimination des matières organiques biodégradables (en solution ou en suspension), des matières solides en suspension et des éléments nutritifs (azote ou phosphore ou les deux).

**Traitement tertiaire :** élimination des matières en suspension résiduelles (après le traitement secondaire), élimination d'autres nutriments et désinfection.

**Traitement quaternaire :** techniques d'élimination des micropolluants qui n'ont peut-être pas été éliminés par des processus de traitement conventionnels (traitement primaire, secondaire et tertiaire).

**Réutilisation de l'eau ou utilisation des eaux usées :** utilisation des eaux usées non traitées, partiellement traitées ou traitées<sup>15</sup>.

## Bibliographie (Lexique)

Corcoran, E., Nellesmann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. and Savelli, H. (eds). 2010. « L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable » (en anglais) Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat).

EPA Victoria (Environment Protection Authority Victoria). Reusing and Recycling Water. Site Internet de l'EPA Victoria. Victoria, Australie, EPA Victoria. HYPERLINK "<http://www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water>" [www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water](http://www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water)

Nations Unies. s.d. Traitement des eaux usées. Plate-forme de connaissances sur le développement durable, l'Organisation des Nations Unies. HYPERLINK "[http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology\\_sheets/freshwater/waste\\_water\\_treatment.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/freshwater/waste_water_treatment.pdf)" [www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology\\_sheets/freshwater/waste\\_water\\_treatment.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/freshwater/waste_water_treatment.pdf)

OMS (Organisation mondiale de la santé). 2016. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture. Genève, Suisse, OMS.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) 2006. Circular Economy: An Alternative Model for Economic Development. Paris, PNUE.

Raschid-Sally, L. and Jayakody, P. 2008. Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries: Results from a Global Assessment. IWMI Research Report No. 127. Colombo, International Water Management Institute (IWMI).

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and David Stensel, H. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Fourth edition. New York, Metcalf & Eddy Inc.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). s.d. Terminology service: Vocabulary Catalogue. Site Internet de l'US EPA. [ofmpub.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary](http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Septic%20Systems%20Glossary)

\_\_\_\_\_. s.d. International Cooperation, Persistent Organic Pollutants: A Global Issue, A Global Response. Site Internet de l'US EPA. [www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response](http://www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response)

\_\_\_\_\_. s.d. Polluted Runoff: Nonpoint Source Pollution. Site Internet de l'US EPA. Disponible à l'adresse [www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/what-nonpoint-source](http://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/what-nonpoint-source)

WaterReuse Research Foundation/American Water Works Association/Water Environment Federation/National Water Research Institute. 2015. Framework for Direct Potable Reuse. Alexandria, Va.

<sup>15</sup> Du point de vue grammatical, l'eau est « réutilisée » et les eaux usées sont « utilisées », mais les eaux usées ne sont pas « réutilisées ».

# ABRÉVIATIONS et ACRONYMES

|                |                                                                                                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AT</b>      | Azote total                                                                                     |
| <b>B-DASH</b>  | Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology                                      |
| <b>BPC</b>     | Biphényles polychlorés                                                                          |
| <b>BRM</b>     | Bioréacteur à membrane                                                                          |
| <b>CEAO</b>    | Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale                                        |
| <b>CEE-ONU</b> | Commission économique des Nations Unies pour l'Europe                                           |
| <b>CRew</b>    | Fonds Régional Caribéen pour la gestion des eaux usées                                          |
| <b>DBO</b>     | Demande biochimique en oxygène                                                                  |
| <b>DCO</b>     | Demande chimique en oxygène                                                                     |
| <b>DEWATS</b>  | Decentralized Wastewater Treatment Systems (Système décentralisés de traitement des eaux usées) |
| <b>DSNU</b>    | Division de statistique des Nations Unies                                                       |
| <b>EcoSan</b>  | Ecological sanitation (assainissement écologique)                                               |
| <b>EH</b>      | Équivalent habitant                                                                             |
| <b>EOCAC</b>   | Pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale                                          |
| <b>FAO</b>     | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture                             |
| <b>FEM</b>     | Fonds pour l'environnement mondial                                                              |
| <b>GES</b>     | Gaz à effet de serre                                                                            |
| <b>GIRE</b>    | Gestion intégrée des ressources en eau                                                          |
| <b>GWh</b>     | Gigawatt-heure                                                                                  |
| <b>IWMI</b>    | International Water Management Institute                                                        |
| <b>KW</b>      | Kilowatt                                                                                        |
| <b>KWh</b>     | Kilowatt-heure                                                                                  |
| <b>MTD</b>     | Meilleures technologies disponibles                                                             |
| <b>MW</b>      | Mégawatt                                                                                        |
| <b>NASA</b>    | National Aeronautics and Space Administration                                                   |
| <b>OCDE</b>    | Organisation de coopération et de développement économiques                                     |
| <b>ODD</b>     | Objectif de développement durable                                                               |
| <b>OMD</b>     | Objectifs du Millénaire pour le développement                                                   |
| <b>OMS</b>     | Organisation mondiale de la santé                                                               |



|                    |                                                                                              |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ONG</b>         | Organisation non gouvernementale                                                             |
| <b>ONUUDI</b>      | Organisation des Nations Unies pour le développement industriel                              |
| <b>ONU-Habitat</b> | Programme des Nations Unies pour les établissements humains                                  |
| <b>PME</b>         | Petites et moyennes entreprises                                                              |
| <b>PNUE</b>        | Programme des Nations Unies pour l'environnement                                             |
| <b>POP</b>         | Polluants organiques persistants                                                             |
| <b>PRTR</b>        | Registre européen des rejets et des transferts de polluants.                                 |
| <b>PT</b>          | Phosphore total                                                                              |
| <b>PUB</b>         | Public Authority Board (Agence Nationale de l'Eau de Singapour)                              |
| <b>SADC</b>        | Communauté de développement de l'Afrique australe                                            |
| <b>SCADA</b>       | Supervisory Control and Data Acquisition                                                     |
| <b>SEEA-Eau</b>    | Système de comptabilité économique et environnementale de l'eau                              |
| <b>SFPUC</b>       | San Francisco Public Utilities Commission (Commission des services publics de San Francisco) |
| <b>TrackFin</b>    | Suivi du financement de l'eau potable, de l'assainissement et de l'hygiène                   |
| <b>UE</b>          | Union européenne                                                                             |
| <b>UNESCO</b>      | Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture                    |
| <b>UNICEF</b>      | Fonds des Nations Unies pour l'enfance                                                       |
| <b>US EPA</b>      | Agence de protection de l'environnement des États-Unis                                       |
| <b>WEF</b>         | Forum économique mondial                                                                     |

# LISTE DES ENCADRÉS, FIGURES et TABLEAUX

## ENCADRÉS

|                     |                                                                                                                                                                                    |     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Encadré 1.1</b>  | Systèmes d'eaux usées archéologiques : Le cas de la Rome antique                                                                                                                   | 18  |
| <b>Encadré 2.1</b>  | Pauvreté, gestion des eaux usées et développement durable : des concepts largement interdépendants                                                                                 | 27  |
| <b>Encadré 2.2</b>  | Rôles dévolus à chacun des deux sexes et introduction à l'utilisation sans danger des eaux usées                                                                                   | 27  |
| <b>Encadré 2.3</b>  | « Perte » de ressources en eau par gaspillage alimentaire                                                                                                                          | 28  |
| <b>Encadré 3.1</b>  | Cadre institutionnel international visant à protéger la qualité de l'eau conjointement dans le Danube et la mer Noire                                                              | 34  |
| <b>Encadré 4.1</b>  | Polluants émergents                                                                                                                                                                | 39  |
| <b>Encadré 4.2</b>  | Interdiction de contaminants des eaux usées : l'exemple des microbilles                                                                                                            | 40  |
| <b>Encadré 4.3</b>  | Évaluation des risques dans la gestion des systèmes de traitement des eaux usées                                                                                                   | 45  |
| <b>Encadré 5.1</b>  | Évacuation des déchets et des eaux usées à Lagos au Nigéria                                                                                                                        | 52  |
| <b>Encadré 5.2</b>  | Réutilisation indirecte d'eau rendue potable dans la pratique, San Diego, Californie                                                                                               | 57  |
| <b>Encadré 5.3</b>  | Systèmes d'aquaculture alimentés par les eaux d'égout de Calcutta : une innovation centenaire des agriculteurs                                                                     | 58  |
| <b>Encadré 5.4</b>  | Traitement des ruissellements d'eaux pluviales de la zone industrielle de Kolding au Danemark                                                                                      | 59  |
| <b>Encadré 6.1</b>  | Enquêtes canadiennes sur l'utilisation industrielle de l'eau                                                                                                                       | 61  |
| <b>Encadré 6.2</b>  | Projet anglo-américain de récupération de l'eau à eMalahleni, Mpumalanga, Afrique du Sud                                                                                           | 65  |
| <b>Encadré 6.3</b>  | Utilisation créative des eaux usées chez Carbery Milk Products, Cork, Irlande                                                                                                      | 66  |
| <b>Encadré 6.4</b>  | Symbiose de Kalundborg à Kalundborg, Danemark                                                                                                                                      | 68  |
| <b>Encadré 6.5</b>  | Utilisation des eaux usées municipales à des fins industrielles et de production de l'énergie                                                                                      | 69  |
| <b>Encadré 7.1</b>  | Une approche à barrières multiples visant à réduire les risques pour la santé liés à l'irrigation des eaux usées                                                                   | 79  |
| <b>Encadré 8.1</b>  | Marais de Nakivubo : un réceptacle de l'essentiel des eaux usées domestiques et industrielles de Kampala (Ouganda)                                                                 | 82  |
| <b>Encadré 8.2</b>  | Marais artificiels aménagés pour le traitement des eaux usées, Indiana, États-Unis                                                                                                 | 83  |
| <b>Encadré 8.3</b>  | Oasis de loisir créée à partir des eaux usées traitées à Lima, Pérou                                                                                                               | 83  |
| <b>Encadré 8.4</b>  | Valeur ajoutée des normes de qualité de l'eau ambiante par rapport aux normes d'émission                                                                                           | 84  |
| <b>Encadré 9.1</b>  | Utilisation des eaux usées à Kumasi et Accra (Ghana)                                                                                                                               | 90  |
| <b>Encadré 9.2</b>  | Recyclage des eaux usées dans le domaine de la production d'énergie thermique (Afrique du Sud)                                                                                     | 92  |
| <b>Encadré 10.1</b> | Stratégie nationale pour le secteur des eaux usées au Liban                                                                                                                        | 96  |
| <b>Encadré 10.2</b> | Réutilisation de l'eau en Tunisie                                                                                                                                                  | 97  |
| <b>Encadré 12.1</b> | Gestion des eaux usées municipales – développement et réhabilitation d'infrastructures : Évolution récente dans les pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale (EOCAC) | 105 |
| <b>Encadré 12.2</b> | Optimisation du potentiel de réutilisation : Contrôle de la qualité des eaux usées traitées et examen de l'assainissement écologique en Europe et en Amérique du Nord              | 106 |
| <b>Encadré 12.3</b> | Directive de l'Union européenne relative au traitement des eaux urbaines résiduaires                                                                                               | 107 |
| <b>Encadré 12.4</b> | Fixation d'objectifs nationaux dans le cadre du Protocole européen sur l'eau et la santé de la CEE-ONU et l'OMS : Relever le défi des eaux usées                                   | 107 |
| <b>Encadré 13.1</b> | Conséquences des rejets d'eaux usées urbaines non traitées : L'épidémie de choléra de 1991                                                                                         | 110 |
| <b>Encadré 14.1</b> | Principes directeurs pour la prévention et la réduction de la production d'eaux usées                                                                                              | 116 |
| <b>Encadré 14.2</b> | Rejet liquide nul dans les industries textiles de Tirupur (Inde)                                                                                                                   | 117 |

|                      |                                                                                                                                                                     |     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Encadré 14.3</b>  | Exemples de production propre et économe en ressources en Tanzanie                                                                                                  | 118 |
| <b>Encadré 14.4</b>  | Fonds régional des Caraïbes pour la gestion des eaux usées (CReW)                                                                                                   | 119 |
| <b>Encadré 14.5</b>  | Fonds d'État renouvelables en faveur des infrastructures d'eaux usées                                                                                               | 120 |
| <b>Encadré 15.1</b>  | Collecte et recyclage d'eaux usées issues des serres en Éthiopie                                                                                                    | 124 |
| <b>Encadré 15.2</b>  | Collecte décentralisée des eaux de pluie dans la ville de Suwon (Corée)                                                                                             | 124 |
| <b>Encadré 15.3</b>  | Extraction des eaux usées à Sydney (Australie)                                                                                                                      | 125 |
| <b>Encadré 16.1</b>  | L'expérience singulière en matière de réutilisation directe d'eau rendue potable à Windhoek (Namibie)                                                               | 128 |
| <b>Encadré 16.2</b>  | Le cas le plus important de réutilisation non planifiée d'eau à des fins de consommation par l'homme (Mexique)                                                      | 128 |
| <b>Encadré 16.3</b>  | Gestion décentralisée de l'eau et utilisation des eaux usées : L'expérience de San Francisco (Californie)                                                           | 129 |
| <b>Encadré 16.4</b>  | La récupération du phosphore en plein essor                                                                                                                         | 130 |
| <b>Encadré 16.5</b>  | Récupération d'énergie et de biocarburants à partir de biosolides : L'approche globale (législative et financière) du Japon                                         | 131 |
| <b>Encadré 16.6</b>  | Exemples de bâtiments chauffés et climatisés à l'aide d'eaux usées                                                                                                  | 131 |
| <b>Encadré 16.7</b>  | Ensemble des possibilités de récupération d'énergie à partir des boues d'épuration, comprenant la digestion anaérobie et la conversion thermique, à Zürich (Suisse) | 132 |
| <b>Encadré 16.8</b>  | Les eaux usées, une source d'hydrocarbures à forte valeur ajoutée grâce aux microalgues                                                                             | 133 |
| <b>Encadré 16.9</b>  | Le programme NEWater de Singapour : Une vaste campagne d'éducation et de sensibilisation                                                                            | 136 |
| <b>Encadré 16.10</b> | Implications culturelles liées à la réutilisation d'eaux usées en pisciculture au Moyen-Orient                                                                      | 137 |
| <b>Encadré 17.1</b>  | Innovations technologiques et recherche dans le domaine des eaux usées                                                                                              | 141 |
| <b>Encadré 17.2</b>  | Mise en application de technologies de pointe dans le domaine des eaux usées au Japon                                                                               | 142 |
| <b>Encadré 17.3</b>  | Les systèmes d'eaux usées répartis : une alternative aux systèmes centralisés                                                                                       | 144 |

## FIGURES

|                   |                                                                                                                                                                                          |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b>   | Devenir des prélèvements mondiaux d'eau douce : Consommation et production d'eaux usées par les principaux secteurs consommateurs d'eau (vers 2010)                                      | 9  |
| <b>Figure 2</b>   | Nombre de mois par an pendant lesquels le volume des eaux de surface et des eaux souterraines prélevé et n'y retournant pas dépasse une résolution de 1,0 à 30 x 30 arc min (1996–2005)* | 10 |
| <b>Figure 3</b>   | Changements prévus dans la fréquence des inondations*                                                                                                                                    | 11 |
| <b>Figure 4</b>   | Estimation des concentrations dans l'eau de coliformes fécaux en Afrique, Amérique latine et Asie (février 2008-2010)*                                                                   | 12 |
| <b>Figure 5</b>   | Estimation des concentrations dans l'eau de la demande biochimique en oxygène (DBO) en Afrique, Amérique latine et Asie (février 2008-2010)*                                             | 13 |
| <b>Figure 6</b>   | Tendance des concentrations de la demande biochimique en oxygène (DBO) dans les fleuves entre 1990 et 1992 puis entre 2008 et 2010*                                                      | 14 |
| <b>Figure 1.1</b> | Eaux usées dans le cycle de l'eau                                                                                                                                                        | 19 |
| <b>Figure 1.2</b> | Flux d'eaux usées                                                                                                                                                                        | 20 |
| <b>Figure 1.3</b> | Encadrement de la gestion des eaux usées du point de vue des ressources                                                                                                                  | 22 |
| <b>Figure 2.1</b> | Les Objectifs de développement durable                                                                                                                                                   | 24 |
| <b>Figure 2.2</b> | Pourcentage d'eaux usées non traitées en 2015 dans les pays ayant différents niveaux de revenu et aspirations pour 2030 (réduction de 50 % par rapport à la référence de 2015)           | 26 |
| <b>Figure 3.1</b> | Niveaux institutionnels d'élaboration et de mise en œuvre des politiques                                                                                                                 | 31 |
| <b>Figure 3.2</b> | Modèle de flux financiers pour la gestion des boues fécales                                                                                                                              | 36 |
| <b>Figure 4.1</b> | Composants des eaux usées et leurs effets                                                                                                                                                | 41 |
| <b>Figure 4.2</b> | Cadre des déchets fécaux pour estimer la proportion de services d'assainissement et de traitement des eaux usées gérés en toute sécurité                                                 | 41 |
| <b>Figure 4.3</b> | Transitions dans l'assainissement et réductions connexes des maladies diarrhéiques                                                                                                       | 42 |
| <b>Figure 4.4</b> | Système de gestion de l'eau à Kampala (Ouganda)                                                                                                                                          | 44 |

|                    |                                                                                                                                                                                               |     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure 4.5</b>  | Système de gestion de l'eau à Dhaka (Bangladesh)                                                                                                                                              | 44  |
| <b>Figure 5.1</b>  | Pourcentage de la population desservie par les différents types de systèmes d'assainissement                                                                                                  | 51  |
| <b>Figure 5.2</b>  | Proportion de la population urbaine vivant dans des bidonvilles, 2000-2012                                                                                                                    | 54  |
| <b>Figure 7.1</b>  | Agriculture-aquaculture intégrée                                                                                                                                                              | 75  |
| <b>Figure 7.1a</b> | L'approche à barrières multiples pour la réduction des risques liés à la consommation tout au long de la chaîne alimentaire, telle qu'elle est appliquée dans l'irrigation par les eaux usées | 79  |
| <b>Figure 9.1</b>  | Population urbaine et rurale (croissance annuelle en pourcentage), 2013                                                                                                                       | 88  |
| <b>Figure 9.2</b>  | Difficultés en matière de gestion de l'eau en milieu urbain par rapport aux capacités institutionnelles et économiques des villes                                                             | 89  |
| <b>Figure 11.1</b> | Programme NEWater de Singapour : dispositif technique général                                                                                                                                 | 100 |
| <b>Figure 12.1</b> | Évolution du traitement des eaux usées dans les régions européennes entre 1980 et 2012                                                                                                        | 104 |
| <b>Figure 14.1</b> | Tri des déchets et possibilités d'utilisation                                                                                                                                                 | 118 |
| <b>Figure 16.1</b> | Réutilisation mondiale de l'eau après un traitement de pointe (tertiaire) : part de marché par domaine d'application                                                                          | 128 |
| <b>Figure 16.2</b> | Classement progressif des propositions de valeur en matière de réutilisation avec des investissements croissants en faveur de la qualité de l'eau ou de la chaîne de valeur                   | 135 |

## TABLEAUX

|                     |                                                                                                                                                              |     |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tableau 1.1</b>  | Exemples d'impacts négatifs des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et les activités de production                                 | 19  |
| <b>Tableau 2.1</b>  | Cibles et indicateurs de l'ODD 6                                                                                                                             | 25  |
| <b>Tableau 3.1</b>  | Acteurs, rôles et fonctions en matière d'eaux usées                                                                                                          | 32  |
| <b>Tableau 4.1</b>  | Sources d'eaux usées générées et composants types                                                                                                            | 40  |
| <b>Tableau 4.2</b>  | Quelques types de systèmes de traitement des eaux usées, leurs avantages et leurs inconvénients                                                              | 46  |
| <b>Tableau 5.1</b>  | Problèmes liés aux eaux usées et au drainage dans quelques types d'environnement urbain                                                                      | 53  |
| <b>Tableau 5.2</b>  | Composition des eaux usées brutes de certains pays                                                                                                           | 55  |
| <b>Tableau 5.3</b>  | Principaux polluants des eaux usées, leurs sources et effets                                                                                                 | 55  |
| <b>Tableau 5.4</b>  | Substances figurant sur la liste rouge                                                                                                                       | 56  |
| <b>Tableau 5.5</b>  | Exemples de données sur les eaux usées industrielles                                                                                                         | 57  |
| <b>Tableau 6.1</b>  | Production d'eaux usées par type d'industrie, 2011 (en millions de m <sup>3</sup> )                                                                          | 62  |
| <b>Tableau 6.2</b>  | Rejets d'eaux usées industrielles après traitement (en pourcentage du total des rejets), 2007-2011                                                           | 63  |
| <b>Tableau 6.3</b>  | Prise d'eau, rejet et recirculation dans l'industrie canadienne, 2011                                                                                        | 63  |
| <b>Tableau 6.4</b>  | Contenu des eaux usées types dans certaines grandes industries                                                                                               | 64  |
| <b>Tableau 7.1</b>  | Catégories des principaux polluants de l'eau issus de l'agriculture et contribution relative des systèmes de production agricole                             | 73  |
| <b>Tableau 8.1</b>  | Effets de l'aménagement de zones riveraines tampons de différentes tailles sur la réduction des sédiments et nutriments des eaux de ruissellement de surface | 81  |
| <b>Tableau 8.2</b>  | Exemples d'utilisation des eaux usées traitées pour appuyer les services écosystémiques                                                                      | 83  |
| <b>Tableau 10.1</b> | Volumes d'eaux usées collectées, traitées et utilisées (en millions de m <sup>3</sup> par an), 2013                                                          | 95  |
| <b>Tableau 11.1</b> | Pays présentant les plus faibles niveaux de traitement des eaux usées dans la région Asie-Pacifique                                                          | 100 |
| <b>Tableau 12.1</b> | Exemples de difficultés et de mesures prises en réponse dans les sous-régions de la zone de la CEE-ONU (non exhaustif)                                       | 104 |
| <b>Tableau 16.1</b> | Exemples de réutilisation de l'eau présentant un potentiel économique                                                                                        | 134 |



# CRÉDITS PHOTOS

## Résumé

p. 1 © Toa55/Shutterstock.com

## Prologue

p. 8 © Pungghi/Shutterstock.com

## Chapitre 1

p. 16 © gameanna/Shutterstock.com

## Chapitre 2

p. 23 © RossHelen/Shutterstock.com

## Chapitre 3

p. 29 © FAO/Matthias Mugisha flickr.com CC BY-NC 2.0

## Chapitre 4

p. 38 © Kletr/Shutterstock.com

## Chapitre 5

p. 50 © AfriramPOE/Shutterstock.com

## Chapitre 6

p. 60 © John Kasawa/Shutterstock.com

## Chapitre 7

p. 71 © Kosin Sukhum/Shutterstock.com

## Chapitre 8

p. 80 © Lochmueller Group

## Chapitre 9

p. 86 © Nestlé flickr.com CC BY-NC-ND 2.0

## Chapitre 10

p. 93 © ACWUA

## Chapitre 11

p. 98 © Viengsompasong Inthavong/World Bank flickr.com CC BY-NC-ND 2.0

## Chapitre 12

p. 102 © Riccardo Auci/Indissoluble.com flickr.com CC BY-SA 2.0

## Chapitre 13

p. 108 © Caroline Bennett/Rainforest Action Network flickr.com CC BY-NC 2.0

## Chapitre 14

p. 114 © Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) flickr.com CC BY-NC 2.0

## Chapitre 15

p. 121 © Hans Engbers/Shutterstock.com

## Chapitre 16

p. 126 © CTR Photos/Shutterstock.com

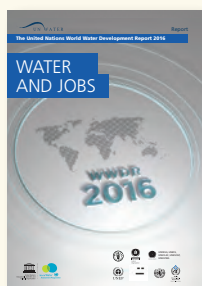
## Chapitre 17

p. 139 © Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) flickr.com CC BY-NC 2.0

## Chapitre 18

p. 146 © Boris Stroujko/Shutterstock.com

# RAPPORT MONDIAL DES NATIONS UNIES SUR LA MISE EN VALEUR DES RESSOURCES EN EAU



ISBN 978-92-3-100146-8

© UNESCO 2016

166 pages

Prix : 45,00 EUROS

**WWDR 2016** En couleur, avec photographies, tableaux, figures, cartes, encadrés, notes, listes des références et des abréviations et Avant-propos du Secrétaire général des Nations Unies Ban Ki-moon, de la Directrice générale de l'UNESCO Irina Bokova et du président d'ONU-Eau et Directeur général de l'OIT Guy Ryder



ISBN 978-92-3-100201-4

© UNESCO 2017

200 pages

Prix : 45,00 EUROS

**WWDR 2017** En couleur, avec Lexique, photographies, tableaux, figures, cartes, encadrés, notes, listes des références et des abréviations ainsi que l'Avant-propos de la Directrice générale de l'UNESCO Irina Bokova et du président d'ONU-Eau et Directeur général de l'OIT Guy Ryder

**Pour acheter une version imprimée de ce livre, rendez-vous à l'adresse suivante :** <http://publishing.unesco.org>

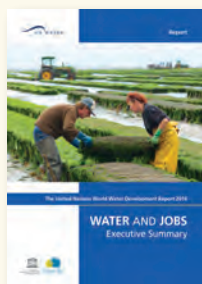
**Pour demander un CD-ROM ou une clé USB contenant le rapport et les publications associées, envoyez un e-mail à :** [wwap@unesco.org](mailto:wwap@unesco.org)

**Pour télécharger les formats PDF et e-book (format .epub) du rapport et des publications associées, d'anciennes éditions du WWDR et du matériel multimédia associé, rendez-vous à l'adresse suivante :** <http://www.unesco.org/water/wwap>

**Contenu de la clé USB :** WWDR 2016, Résumé en 10 langues, Faits et Chiffres en 5 langues, et éditions précédentes du WWDR

**Contenu de la clé USB :** WWDR 2017, Résumé en 10 langues neuf langues, Faits et Chiffres en 5 langues, et éditions précédentes du WWDR

## PUBLICATIONS ASSOCIÉES



Rapport de synthèse du WWDR 2016

12 pages

Disponible en anglais, arabe, chinois, français, hindi, italien, portugais, russe et espagnol



Faits et Chiffres du WWDR 2016

12 pages

Disponible en anglais, français, italien, portugais et espagnol



Résumé du WWDR 2017

12 pages

Disponible en allemand, arabe, chinois, espagnole, français, hindi, italien, portugais et russe



Faits et Chiffres du WWDR 2017

12 pages

Disponible en anglais, espagnol, français, italien et portugais

**Pour télécharger ces documents, rendez-vous à l'adresse suivante :** <http://www.unesco.org/water/wwap>

ONU-Eau renforce la coordination et la cohésion des entités des Nations Unies s'occupant des questions relatives à tous les aspects de l'eau douce et de l'assainissement, notamment les ressources en eau de surface et en eau souterraine, l'interface entre l'eau douce et l'eau de mer et les catastrophes liées à l'eau. Créé en 2003 par le Comité de haut niveau des Nations Unies sur les programmes, est le fruit d'une collaboration étroite entre les organisations des Nations Unies. Il a été créé pour valoriser les initiatives des Nations Unies, en favorisant la coopération et le partage de l'information entre les organisations des Nations Unies et les partenaires extérieurs.

Le but principal d'ONU-Eau est de compléter et d'ajouter de la valeur aux programmes et projets existants en facilitant les synergies et les efforts conjoints, de façon à maximiser la coordination et la cohérence de l'action de l'ensemble du système des Nations Unies. ONU-Eau vise à accroître l'efficacité de l'appui fourni aux États membres dans leurs efforts pour parvenir à des accords internationaux sur l'eau.

## RAPPORTS PÉRIODIQUES

### Le rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR)

La publication de référence du système des Nations Unies sur l'état des ressources en eau douce. Ce rapport est le résultat de la forte collaboration entre les membres et les partenaires d'ONU-Eau, et il représente la réponse cohérente et intégrée du système de l'ONU aux problèmes liés à l'eau douce ainsi qu'aux défis émergents. La production du rapport coordonnée par le Programme Mondial pour l'évaluation de l'eau ainsi que son thème sont harmonisés avec la Journée mondiale de l'eau (22 mars). De 2003 à 2012, le WWDR a été publié tous les trois ans ; à partir de 2014, le rapport est publié chaque année afin de fournir des informations actualisées sur la façon dont les défis liés à l'eau sont traités dans le monde entier.

- ✓ Perspectives stratégiques
- ✓ L'état, les usages et la gestion des ressources en eau
- ✓ Mondial
- ✓ Les évaluations régionales
- ✓ Triennal (2003-2012)
- ✓ Annuelle (à partir de 2014)
- ✓ Liens vers le thème de la Journée mondiale de l'eau (22 Mars)

### Analyse et évaluation mondiales sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS) d'ONU-Eau

Produit par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) au nom d'ONU-Eau. Il fournit une mise à jour globale sur les cadres politiques, les arrangements institutionnels, la base de ressources humaines, et les mécanismes de financement internationaux et nationaux à l'appui de l'assainissement et de l'eau potable. Ceci est une contribution de fond aux activités de l'ONG Assainissement et eau pour tous (SWA).

- ✓ Perspectives stratégiques
- ✓ L'approvisionnement en eau et l'assainissement
- ✓ Mondial
- ✓ Les évaluations régionales
- ✓ Biennal (depuis 2008)

### Le rapport intermédiaire du Programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (JMP)

Affilié à ONU-Eau et présente les résultats de la surveillance globale des progrès accomplis dans l'accès à l'eau potable, à un assainissement et une hygiène adéquats. La surveillance s'appuie sur les résultats d'enquêtes auprès des ménages et des recensements généralement soutenus par les bureaux nationaux de statistique conformément à des critères internationaux, ainsi que, de plus en plus, sur des ensembles de données administratives et réglementaires nationales.

- ✓ Situation et tendances
- ✓ L'approvisionnement en eau et l'assainissement
- ✓ Mondial
- ✓ Les évaluations régionales et nationales
- ✓ Biennal (1990-2012)
- ✓ Mises à jour annuelles (depuis 2013)

## PUBLICATIONS PREVUES PAR ONU-EAU POUR 2017

- Mise à jour du document d'orientation d'ONU-Eau sur l'eau et les changements climatiques
- Document d'orientation d'ONU-Eau sur les Conventions sur l'eau
- Note d'analyse d'ONU-Eau sur l'efficacité dans l'utilisation des ressources en eau
- Rapport de synthèse 2018 de l'ODD 6 sur l'eau et l'assainissement





Le programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) est hébergé par l'UNESCO. Le WWAP rassemble les travaux de 31 membres d'ONU-Eau et de 38 partenaires pour publier le Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR).

Le Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau porte sur des questions stratégiques liées à l'eau. Les membres et partenaires d'ONU-Eau, tous des experts dans leurs domaines respectifs, révèlent les découvertes les plus récentes sur un thème spécifique.

L'édition de 2017 du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau porte sur les « eaux usées » et vise à informer les décideurs, à l'intérieur et à l'extérieur de la communauté de l'eau, sur l'importance de la gestion des eaux usées en tant que source sous-évaluée et durable d'eau, d'énergie, de nutriments et d'autres sous-produits récupérables, plutôt que quelque chose à éliminer ou une nuisance à ignorer.

Le titre du rapport, *Les eaux usées : Une ressource inexploitée*, traduit le rôle crucial que les eaux usées sont appelées à jouer dans le contexte d'une économie circulaire, dans laquelle le développement économique s'équilibre avec la protection des ressources et la durabilité de l'environnement, et où une économie plus propre et plus durable a un effet positif sur la qualité de l'eau. L'amélioration de la gestion des eaux usées est essentielle non seulement à la réalisation de l'Objectif de développement durable portant sur l'eau et l'assainissement (ODD 6), mais aussi à d'autres objectifs du Programme de développement durable à l'horizon 2030.

Dans un monde où la demande en eau douce augmente sans cesse, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion des eaux usées.

Nous sommes reconnaissants du soutien financier du  
Gouvernement italien et de la Regione Umbria



Regione Umbria

ISBN 978-92-3-200115-3

