

Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020

L'EAU ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



WWDR 2020

Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020

L'EAU ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Publié en 2020 par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture,
7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2020

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

ISBN 978-92-3-200197-9



Cette publication est disponible en libre accès en vertu de la licence Attribution-ShareAlike IGO (CC BY-SA 3.0 FR) (creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/deed.fr). En utilisant le contenu de cette publication, les utilisateurs acceptent d'être contraints par les modalités d'utilisation de l'Archive en libre accès de l'UNESCO (fr.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-fr).

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 auprès du titulaire du droit d'auteur.

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 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 titre des chapitres du présent Rapport aux contenus. L'UNESCO et le Programme mondial de l'UNESCO pour l'évaluation des ressources en eau (WWAP) 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 offert la possibilité aux individus d'être listés comme auteurs et contributeurs et d'être reconnus dans cette publication. Le WWAP n'est pas responsable de toute omission à cet égard.

Chapitres 3, 4, 5, 6, 7, 9 et 11 : Contributions des auteurs de UNU-FLORES © 2020 United Nations University. Les idées et les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs ; elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'Université des Nations Unies. Publiées avec la permission de l'Université des Nations Unies.

Chapitre 5 : Les auteurs sont membres du personnel de l'Organisation mondiale de la Santé. Les opinions exprimées dans ce chapitre n'engagent que l'auteur et elles ne représentent pas nécessairement les décisions, politiques ou opinions de l'Organisation mondiale de la Santé.

Chapitre 10 : Hanna Plotnykova, Sonja Koeppel, Francesca Bernardini et Sarah Tiefenauer-Linardon (co-auteurs) © 2020 Nations Unies. Contributions : Chapitre 2 : Francesca Bernardini, Sonja Koeppel et Hanna Plotnykova ; Chapitre 4 : Sonja Koeppel et Hanna Plotnykova ; Chapitre 9 : Lucia de Strasser ; Chapitre 11 ; Francesca Bernardini et Sonja Koeppel ; et Chapitre 12 : Francesca Bernardini, Sonja Koeppel et Hanna Plotnykova © 2020 Nations Unies

Chapitre 12 : Cette traduction n'a été réalisée par aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale et ne doit pas être considérée comme une traduction officielle du Groupe de la Banque mondiale. Aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale ne peut être tenue responsable du contenu de cette traduction ou des erreurs qui s'y trouveraient.

Citation suggérée :

UNESCO, ONU-Eau, 2020 : *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020 : L'eau et les changements climatiques*. Paris, UNESCO.

Couverture originale de Phoenix Design Aid

Imprimé par l'UNESCO, Paris

Cette publication est imprimée à l'aide d'encre végétale sur du papier FSC mixte qui appuie l'utilisation responsable des réserves forestières, est 100 % recyclé, sans acide et sans chlore.



Table des matières

Avant-propos par Audrey Azoulay, <i>Directrice générale de l'UNESCO</i>	iv
Avant-propos par Gilbert F. Houngbo, <i>Président d'ONU-Eau et Président du Fonds international de développement agricole</i>	v
Préface	vi
Équipe de production du WWDR 2020	viii
Remerciements	ix
Résumé	1
Prologue L'état des ressources en eau dans le cadre des changements climatiques	12
Introduction	13
Les changements climatiques	14
Climat et eau	18
Aperçu des impacts des changements climatiques liés à l'eau	20
Régions sensibles aux risques – PEID, semi-arides, littorales, arrière-pays et montagneuses	30
Limites et difficultés	32
Chapitre 1 Changements climatiques, eau et développement durable	34
1.1 Objectifs et portée	35
1.2 Un défi intersectoriel et la nécessité d'évaluations intégrées	38
1.3 Les plus vulnérables	40
Chapitre 2 Cadres politiques internationaux	44
2.1 Introduction	45
2.2 Aperçu des principaux accords	45
2.3 L'eau comme lien pour appuyer la mise en œuvre d'accords mondiaux ?	51
Chapitre 3 Disponibilité de l'eau, infrastructures et écosystèmes	54
3.1 Impacts sur les ressources en eau et les infrastructures	55
3.2 Solutions envisageables pour améliorer la sécurité de l'eau dans un contexte de changements climatiques	57
3.3 Options d'atténuation pour la gestion des ressources en eau	64
Chapitre 4 Événements extrêmes liés à l'eau et gestion des risques	68
4.1 Événements extrêmes relatifs au climat et à l'eau comme défis en matière de gestion de l'eau.....	69
4.2 Mesures dures et douces en matière d'adaptation aux changements climatiques et de réduction des risques de catastrophe	71
4.3 Méthodes de planification et d'évaluation pour la réduction des risques de catastrophe	76
4.4 Opportunités	74
Chapitre 5 Impacts sur la santé humaine liés à l'eau, à l'assainissement et aux changements climatiques ..	78
5.1 Introduction	79
5.2 Tendances de la morbidité et de la mortalité liées à l'eau	80
5.3 Risques pour la santé liés aux changements climatiques	82
5.4 Options d'intervention en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement.....	86

Chapitre 6	Agriculture et sécurité alimentaire	88
6.1	Introduction	89
6.2	Impacts climatiques et base de références en agriculture : distinguer les chocs des tendances	92
6.3	Rôle de la gestion de l'eau destinée à l'agriculture dans l'adaptation	98
6.4	Émissions de GES issues de l'agriculture, des forêts et d'autres utilisations de la terre	101
6.5	Rôle de la gestion de l'eau destinée à l'agriculture dans l'atténuation des impacts des changements climatiques	103
6.6	Conclusions	106
Chapitre 7	Énergie et industrie	108
7.1	Contexte	109
7.2	Défis et risques	110
7.3	Réactions et opportunités	114
7.4	La voie du progrès	122
Chapitre 8	Établissements humains	124
8.1	Introduction	125
8.2	Eau, climat et développement urbain	126
8.3	Besoin accru de résilience en matière des eaux urbaines	127
8.4	Domaines d'action essentiels	127
8.5	Conclusions et recommandations	131
Chapitre 9	Liens entre l'eau, le climat, l'énergie, l'alimentation et l'environnement	134
9.1	Considérer les liens entre les secteurs	135
9.2	Avantages connexes	140
Chapitre 10	Perspectives régionales	142
10.1	Aperçu général	143
10.2	Lutte contre les impacts des changements climatiques liés à l'eau dans les pays et les régions	144
10.3	Afrique subsaharienne – Perspective de la CEA	148
10.4	Europe, Caucase et Asie centrale – Perspective de la CEE	151
10.5	Amérique latine et Caraïbes – Perspective de la CEPALC	155
10.6	Asie et Pacifique – Perspective de la CESAP	158
10.7	Asie occidentale et Afrique du Nord – Perspective de la CESAO	162
10.8	Conclusion : promouvoir l'action en faveur de l'eau et du climat par la sensibilisation et la collaboration au niveau régional	167

Chapitre 11	Gouvernance de l'eau pour la résilience aux changements climatiques	168
11.1	Introduction	169
11.2	Intégrer les préoccupations relatives aux changements climatiques dans la gestion de l'eau	169
11.3	Participation du public à l'établissement du programme, à la prise de décisions et au suivi	173
11.4	Réduire la vulnérabilité et renforcer la résilience en luttant contre la pauvreté et l'inégalité.....	177
Chapitre 12	Financement de l'action climatique : considérations financières et économiques	180
12.1	Aperçu général	181
12.2	Pourquoi relier le financement de l'eau et du climat	181
12.3	Considérations économiques des projets relatifs à l'eau et au climat	185
12.4	Types d'investissements climatiques pour les projets relatifs à l'eau	187
12.5	Utiliser le financement multilatéral de l'action climatique pour l'eau	187
12.6	Utiliser le financement national de l'action climatique pour l'eau	189
12.7	Sources de financement alternatives	191
12.8	Conclusion	192
Chapitre 13	Innovation technologique et connaissances des citoyens.....	194
13.1	Introduction	195
13.2	Innovation technologique	196
13.3	Des données à la prise de décision : combler le fossé entre la science et la politique	198
Chapitre 14	Aller de l'avant	200
14.1	De l'adaptation à l'atténuation	201
14.2	Favoriser un environnement propice au changement.....	202
14.3	Coda	204
	Références	206
	Sigles et acronymes	238
	Figures, encadrés et tableaux	240
	Crédits photographiques	243

Avant-propos

par Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO

Le climat change et c'est notre monde qui est désormais en danger.

L'extinction guette ainsi près d'un million d'espèces animales et végétales, menaçant en particulier les espèces d'eau douce puisque 84 % d'entre elles se sont éteintes depuis 1970. L'humanité est également profondément concernée puisque près de quatre milliards de personnes subissent actuellement une sévère pénurie d'eau physique pendant au moins un mois par an, une situation que la crise climatique amplifie et aggrave.

Quand la « planète bleue » se réchauffe, les effets des changements climatiques se font nécessairement et principalement sentir à travers les problèmes liés à l'eau.

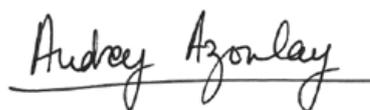
Et pourtant, le mot « eau » apparaît rarement dans les accords internationaux sur le climat, alors qu'elle est au cœur de nombreux enjeux essentiels comme la sécurité alimentaire, la production d'énergie, le développement économique et la réduction de la pauvreté.

À l'heure où, en dépit de nos efforts pour respecter l'Accord de Paris, nos actions visant à réduire le réchauffement de la planète ne sont pas à la hauteur de nos ambitions, il faut mesurer tout le potentiel de l'eau : elle peut faire partie des solutions.

C'est ce qu'entend faire ce *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*, consacré cette année au thème « eau et changements climatiques » et qui montre que l'on aurait tort de ne voir la question de l'eau que sous l'angle d'un problème ou d'une insuffisance. Au contraire, une meilleure gestion de l'eau peut appuyer les efforts visant à atténuer et à s'adapter aux effets des changements climatiques. Par exemple, la protection des zones humides, ou l'agriculture de conservation peuvent contribuer à piéger le carbone dans la biomasse et les sols, tandis que l'amélioration du traitement des eaux usées peut aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre et permettre la production de biogaz comme source d'énergie renouvelable.

Coordonné et publié par l'UNESCO, ce rapport est le résultat d'une collaboration étroite et continue avec la famille ONU-Eau, mais aussi du soutien de longue date du Gouvernement italien et de la Regione Umbria. Que toutes celles et tous ceux qui ont participé à cet effort commun soient chaleureusement remerciés.

L'eau n'est cependant pas seulement d'un outil de développement : c'est un droit fondamental, un droit essentiel pour la paix et la sécurité partout dans le monde, un droit de l'homme. C'est un sujet central, encore trop méconnu, que nous avons le devoir de saisir à bras le corps : de notre capacité à relever les défis qui l'entourent, dépend en partie notre capacité à léguer aux générations futures un monde habitable pour tous.



Audrey Azoulay

Avant-propos

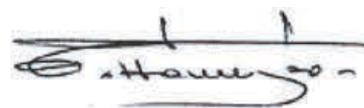
par Gilbert F. Hougbo, *Président d'ONU-Eau et Président du Fonds international de développement agricole*

Les changements climatiques à la fois touchent et sont touchés par les ressources mondiales en eau. Ils rendent la disponibilité de l'eau moins prévisible et influent sur la qualité de l'eau. En raison des changements climatiques, les événements météorologiques extrêmes sont en augmentation et menacent le développement socioéconomique durable et la biodiversité partout au monde, entraînant de profondes répercussions sur les ressources en eau. En tant que tel, les changements climatiques relèvent les difficultés grandissantes associées à la gestion durable de l'eau. À l'inverse, la manière dont l'eau est gérée influence les moteurs des changements climatiques.

L'eau constitue ainsi le lien ultime entre les engagements mondiaux en faveur d'un futur durable : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et ses 17 Objectifs de développement durable (ODD) dépendent grandement d'une gestion de l'eau améliorée. Dans le contexte du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe, adopté par les États membres des Nations Unies en mars 2015, la gestion de l'eau est essentielle pour réduire le nombre et les impacts des catastrophes liées à l'eau, qui ont les conséquences les plus importantes sur la société et sur les moyens de subsistance des personnes. La mise en œuvre de l'Accord de Paris dépend aussi de l'amélioration de la gestion des ressources en eau. Ce fait est clairement reconnu dans les contributions déterminées au niveau national (CDN) de nombreux pays pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour s'adapter aux effets des changements climatiques, en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Des initiatives d'adaptation liées à l'eau ont, par exemple, été incluses à de nombreuses CDN en tant que priorités.

L'édition 2020 du *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau* montre les liens essentiels entre l'eau et les changements climatiques dans le cadre du développement durable. Le rapport sert également de guide pour prendre des mesures concrètes et relever ces défis. Il présente des actions, illustrées par des exemples provenant du monde entier, liées à trois domaines : premièrement, permettre aux personnes de s'adapter aux effets des changements climatiques ; deuxièmement, renforcer la résilience des moyens de subsistance ; enfin, réduire les moteurs des changements climatiques. Les mesures visant à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans le domaine agricole – tout en garantissant l'accès à l'eau de groupes vulnérables tels que les petits exploitants agricoles – sont incontestablement liées à de multiples ODD. Il s'agit de ceux liés à l'objectif zéro faim (ODD 2), à la disponibilité et l'accès à l'eau (ODD 6), à l'action climatique (ODD 13) et à la promotion de l'utilisation durable des services écosystémiques (ODD 15).

Le rapport conclut sur le fait que réduire tant les effets que les facteurs des changements climatiques exigera des transformations importantes dans la manière dont nous utilisons et réutilisons les ressources en eau limitées de la planète. L'expérience et l'expertise nécessaires pour atteindre cet objectif sont rassemblées dans ce rapport par les membres et partenaires d'ONU-Eau. Je souhaiterais les remercier pour l'élaboration de cette publication phare. Je tiens à exprimer ma reconnaissance à l'UNESCO et à son Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau pour avoir coordonné la production de ce rapport. Je suis convaincu qu'il contribuera à aider les dirigeants à lutter contre les difficultés liées aux changements climatiques en saisissant les vastes opportunités qu'offrent l'amélioration de la gestion de l'eau pour l'adaptation, la mitigation et la résilience dans un monde en rapide évolution.



Gilbert F. Hougbo

Préface

par **Michela Miletto**, *Coordinatrice adjointe de l'UNESCO WWAP*
et **Richard Connor**, *Rédacteur en chef*

Les changements climatiques ont une incidence sur les écosystèmes, les sociétés et économies humaines de diverses manières ; l'eau est le principal intermédiaire par lequel nous en ressentons ses impacts. Dans certains cas, ces conséquences sont évidentes, telles que la fréquence et l'intensité accrues des tempêtes, des inondations et des sécheresses. La variabilité accrue du cycle global de l'eau entraîne un stress hydrique plus important à différents moments et dans différentes régions. On compte aussi parmi les impacts liés à l'eau des changements climatiques des effets néfastes sur la sécurité alimentaire, la santé humaine, la production d'énergie et la biodiversité, sans oublier les moyens de subsistance quotidiens des femmes, des hommes et des enfants les plus vulnérables. Ces effets peuvent emmener (ou ont déjà emmené) des inégalités sociales croissantes, des troubles sociaux, des migrations massives et des conflits.

Au niveau international, plusieurs cadres ont été adoptés pour régler ces problèmes. Cependant, bien que le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (avec ses 17 ODD, y compris des objectifs concrets pour l'eau et la lutte contre les changements climatiques), l'Accord de Paris de 2015 et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe aient tous prévu des objectifs et cibles ambitieux, les véritables progrès pour réaliser ces engagements mondiaux sont lents, surtout dans les domaines où l'eau se croise avec les changements climatiques.

L'édition 2020 du Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) montre les liens essentiels entre l'eau et les changements climatiques dans le cadre plus large du programme de développement durable. Le rapport n'est pas un examen purement technique des effets des changements climatiques sur le cycle de l'eau. Il s'agit plutôt d'énoncer les difficultés, les possibilités et les réponses potentielles aux changements climatiques – adaptation, atténuation et résilience renforcée – pouvant être abordées en améliorant la gestion et l'utilisation des ressources en eau et en offrant des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement pour tous et de manière durable. Ce faisant, le rapport s'adresse à deux des plus graves crises que le monde continuera de subir au cours des prochaines décennies : la sécurité (ou insécurité) de l'eau et les changements climatiques.

En ce qui concerne les changements climatiques, nous avons longtemps pensé que l'atténuation concernait surtout l'énergie, et que l'adaptation concernait surtout l'eau. Cette perspective est trop simpliste. Le secteur de l'eau doit nécessairement s'adapter aux changements climatiques : que ce soit pour lutter contre les effets des inondations ou pour s'attaquer au stress hydrique accru dans les domaines de l'agriculture et de l'industrie. En même temps, la gestion de l'eau peut aussi jouer un rôle crucial dans l'atténuation des effets des changements climatiques. Des interventions concrètes en matière de gestion de l'eau, telles que la protection des zones humides, l'agriculture de conservation et d'autres solutions fondées sur la nature, peuvent contribuer à stocker le carbone dans la biomasse et les sols, tandis qu'un meilleur traitement des eaux usées peut contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en fournissant du biogaz comme source d'énergie renouvelable.

Le renforcement de l'adaptation en matière de gestion de l'eau ne règlera pas à lui seul la crise climatique, tout comme l'atténuation ne la règlera pas à elle seule ni la crise de l'eau ni la réalisation des ODD relatifs à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement. Si nous ne tiendrons pas compte du rôle de l'eau dans l'adaptation aux effets des changements climatiques et l'atténuation de ses effets, et nous ne saisissons pas les opportunités qu'offrent les cadres relatifs aux changements climatiques pour améliorer la gestion de l'eau, les progrès considérables déjà réalisés pour régler ces crises risquent de se faire dérailler.

À travers de cette édition du WWDR, nous nous sommes engagés à rendre compte de manière équilibrée, neutre et fondée sur des données factuelles l'état actuel des connaissances, en abordant les avancées les plus récentes, et en présentant les difficultés et possibilités qu'englobe la gestion améliorée de l'eau dans le cadre des changements climatiques. Bien qu'il soit principalement destiné aux décideurs et aux responsables des ressources en eau au niveau national, ainsi qu'aux universitaires et à toutes celles et à tous ceux qui œuvrent dans le domaine du, nous espérons également que ce rapport sera particulièrement bien reçu par les scientifiques, les praticiens et les négociateurs engagés dans la question de changements climatiques.

Septième d'une série de rapports thématiques annuels, cette dernière édition du WWDR est le résultat d'efforts concertés entre les organismes chargés des chapitres : Banque mondiale, FAO, OMS, OMM, ONU-Habitat, ONUDI, PNUD, SIWI, UNESCO-PHI, UNESCO WWAP et UNU-INWEH ; avec des perspectives régionales apportées par le Bureau de l'UNESCO à Nairobi, la CEA, la CEE, la CEPALC, la CESAO, la CESAP, GWP et ODI. Le rapport a également bénéficié, dans une large mesure, des apports et contributions de plusieurs autres membres et partenaires d'ONU-Eau, ainsi que de nombreux scientifiques, professionnels et ONG qui ont fourni de nombreux supports pertinents. Tout comme les précédentes éditions, le rapport prend en compte la dimension du genre.

Au nom du Secrétariat du WWAP, nous souhaitons étendre notre plus profonde appréciation aux organismes, membres et partenaires d'ONU-Eau susmentionnés, ainsi qu'aux auteurs et aux autres collaborateurs qui ont produit ensemble ce rapport officiel unique qui aura, nous l'espérons vivement, de multiples impacts positifs partout dans le monde. Nous sommes infiniment reconnaissants au Gouvernement italien pour son financement du WWAP et à Regione Umbria pour la mise à disposition de Villa La Colombella, à Pérouse, pour héberger le Secrétariat du WWAP. Leurs contributions ont été précieuses pour l'élaboration du WWDR.

Nous remercions Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO, pour son soutien vital au WWAP et pour l'élaboration du WWDR. Cette publication n'aurait pas été possible sans les conseils de Gilbert F. Hounbo, Président du Fonds international de développement agricole et Président d'ONU-Eau.

Nous exprimons notre plus sincère gratitude à nos collègues du Secrétariat du WWAP, dont les noms sont mentionnés dans les remerciements. Le rapport n'aurait pas pu être réalisé sans leur professionnalisme et leur dévouement. Enfin, nous sommes reconnaissants à Stefan Uhlenbrook, coordonnateur de l'UNESCO WWAP de novembre 2015 à septembre 2019, qui a joué un rôle clé dans la conception et l'élaboration de ce rapport.

Nous dédions le WWDR 2020 aux jeunes du monde entier dont les appels à l'action climatique ont bien été entendus.



Michela Miletto



Richard Connor

Équipe de production du WWDR 2020

Directeurs de la publication

Stefan Uhlenbrook (jusqu'au septembre 2019) et Michela Miletto

Rédacteur en chef

Richard Connor

Coordinateur du processus

Engin Koncagül

Assistante de publications

Valentina Abete

Graphiste

Marco Tonsini

Révision

Diwata Hunziker

**Secrétariat du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO (WWAP)
(2019–2020)**

Coordinateur par intérim : Abou Amani

Coordinatrice adjointe : Michela Miletto

Programmes : Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül, Natalia Uribe Pando, Paola Piccione et Laurens Thuy

Publications : Valentina Abete et Marco Tonsini

Communications : Simona Gallese

Administration : Barbara Bracaglia, Lucia Chiodini et Arturo Frascani

Informatique et sécurité : Fabio Bianchi, Michele Brensacchi (IT), Tommaso Brugnami et Francesco Gioffredi

Stagiaires : Marianna Alcini, Daria Boldrin, Han Chen, Cora Craigmile Boguna, Maria de Lourdes Corona, Charlotte Moutafian, Bianca Maria Rizzo et Yani Wang

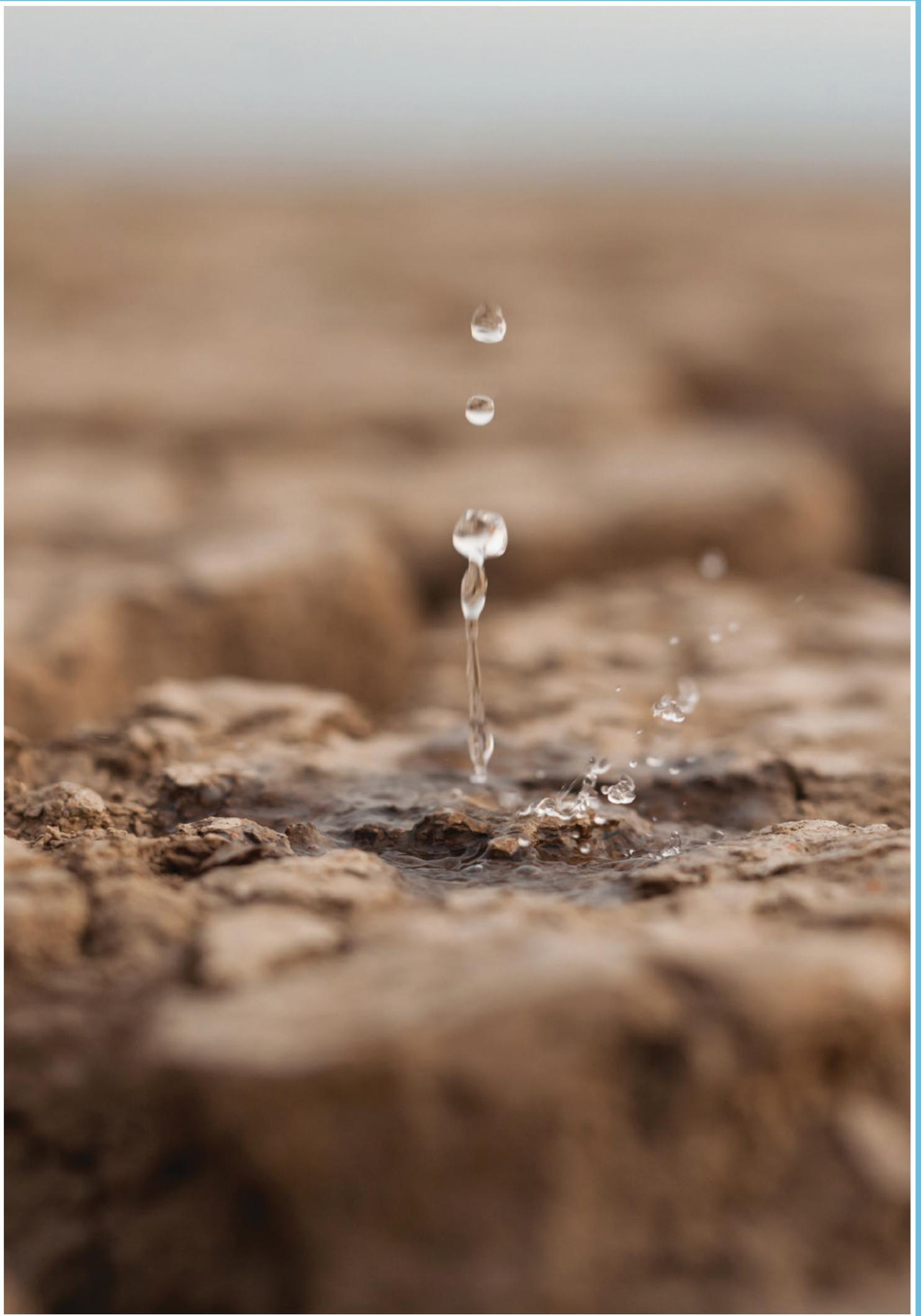
Remerciements

Nous exprimons toute notre reconnaissance à la Banque mondiale, la FAO, l'OMM, l'OMS, l'ONUDI, l'ONU-Habitat, le PNUD, le SIWI, l'UNESCO-PHI et l'UNU-INWEH pour leurs contributions en tant qu'organismes chargés des chapitres qui ont rendues ce rapport possible.

Nous remercions également le Partenariat mondial pour l'eau (GWP), l'ODI, les Commissions régionales des Nations Unies (CEA, CEE, CEPALC, CESA0 et CESAP), le Bureau de l'UNESCO à Nairobi pour avoir codirigé le Chapitre 10 sur les perspectives régionales, ainsi que les membres et partenaires de l'ONU-Eau et tous les organisations et les personnes ayant apporté des contributions et des commentaires utiles tout au long de la production.

Le WWAP est particulièrement reconnaissant au Gouvernement italien pour son soutien financier généreux, ce qui permet le fonctionnement du Secrétariat du WWAP et la production de la série des Rapports mondiaux sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR), et à Regione Umbria pour les services et les installations mis à sa disposition.

Nous remercions vivement les institutions suivantes pour la traduction du résumé : les Bureaux hors siège de l'UNESCO à Almaty et New Delhi, respectivement, pour la traduction en russe et en hindi ; China Water and Power Publishing & Media Group et le Bureau de l'UNESCO à Pékin pour la traduction en chinois ; l'Agence nationale de l'eau, l'Agence brésilienne de coopération et le Bureau de l'UNESCO au Brésil pour la traduction en portugais ; la Commission allemande de l'UNESCO pour la traduction en allemand ; et le i-WSSM, le Centre de catégorie II de l'UNESCO en République de Corée pour la traduction en coréen.



Résumé

Les changements climatiques auront des effets sur la disponibilité, la qualité et la quantité de l'eau pour répondre aux besoins humains de base, et menacent la jouissance effective des droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement pour d'éventuels milliards de personnes. Les changements hydrologiques causés ou provoqués par les changements climatiques rendront plus difficile la gestion durable des ressources en eau, qui subissent déjà des pressions sévères dans de nombreuses régions du monde.

La sécurité alimentaire, la santé humaine, les établissements urbains et ruraux, la production d'énergie, le développement industriel, la croissance économique et les écosystèmes dépendent tous de l'eau et sont donc vulnérables aux effets des changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets grâce à la gestion de l'eau sont ainsi essentielles au développement durable et nécessaires à la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030, de l'Accord de Paris et du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe.

Impacts sur les ressources en eau

Au cours des 100 dernières années, l'utilisation mondiale d'eau a été multipliée par six et continue d'augmenter rapidement de près de 1 % par an en raison de la croissance démographique, du développement économique et de l'évolution de la consommation. Associés à un approvisionnement plus irrégulier et incertain, les changements climatiques aggraveront la situation de stress hydrique des régions déjà touchées et généreront un stress hydrique dans les régions où les ressources en eau sont pour l'instant abondantes. La pénurie physique en eau est souvent un phénomène saisonnier et non un phénomène chronique, mais les changements climatiques sont susceptibles d'altérer la disponibilité de l'eau tout au long de l'année dans plusieurs régions.

Les changements climatiques se manifestent, entre autres, par le biais de la fréquence et l'ampleur accrues d'événements climatiques extrêmes comme les vagues de chaleur, les pluies sans précédent, les orages et les ondes de tempêtes.

La qualité de l'eau se détériorera suite à l'augmentation de sa température, d'une quantité réduite de l'oxygène dissous et d'une plus faible capacité d'autoépuration des plans d'eau douce. D'autres risques s'y ajoutent, telles que la pollution de l'eau et la contamination pathogène causée par les inondations et par des concentrations plus importantes de polluants lors des sécheresses.

De nombreux écosystèmes, en particulier les forêts et les zones humides, sont également en danger. La dégradation des écosystèmes n'entraînera pas seulement une perte de biodiversité : elle affectera également la prestation de services écosystémiques liés à l'eau, comme l'épuration de l'eau, le captage et le stockage de carbone, les protections naturelles contre les inondations, ainsi que l'approvisionnement en eau pour l'agriculture, la pêche et la baignade.

La plupart des effets des changements climatiques se manifesteront dans les régions tropicales où se trouve la majorité des pays en développement. Les petits États insulaires en développement (PEID) sont particulièrement vulnérables aux catastrophes et aux changements climatiques – tant sur le plan environnemental que socioéconomique – et nombre d'entre eux subiront un stress hydrique accru. Partout dans le monde, les zones arides devraient s'étendre considérablement. La fonte accélérée des glaciers aura des conséquences négatives sur les ressources en eau dans les régions montagneuses et les basses terres qui les entourent.

Bien que les preuves de l'influence des changements climatiques sur la disponibilité et la distribution des ressources en eau sont de plus en plus nombreuses, des doutes subsistent notamment aux niveaux local et des bassins hydrographiques. Même s'il n'existe que peu de désaccords au sujet de l'augmentation des températures, – augmentation qui ont été simulées par différents modèles de circulation générale (MCG) dans des scénarios spécifiques – les tendances de précipitation prévues restent plus variables et ambiguës. Les tendances les plus extrêmes (précipitations plus importantes, chaleur, sécheresses prolongées) sont souvent plus claires que celles se rapportant aux précipitations annuelles totales et aux tendances saisonnières.

Adaptation et atténuation

L'adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires permettant de gérer et réduire les risques associés aux changements climatiques.

L'adaptation associe les options naturelles, construites et technologiques, à des mesures sociales et institutionnelles, visant à réduire les risques ou à exploiter tout avantage éventuel découlant des changements climatiques. Des options d'adaptation existent dans tous les secteurs liés à l'eau ; elles devraient être étudiées et mises en œuvre lorsque possible.

L'atténuation consiste en interventions humaines visant à réduire les sources de gaz à effet de serre ou à renforcer les puits de GES. Bien que des options d'atténuation soient également disponibles dans tous les secteurs majeurs liés à l'eau, elles demeurent largement ignorées.

Cadres politiques internationaux

Dans le cadre du Programme 2030, l'eau est un facteur de lien (souvent) ignoré alors qu'il est essentiel pour atteindre les différents Objectifs de développement durable (ODD). À cet effet, un manque d'adaptation aux changements climatiques n'engendre pas seulement des risques pour la réalisation de l'ODD 6 (l'objectif « sur l'eau ») : il compromet également la réalisation de la majorité des autres ODD. Alors même que l'ODD 13 – « *Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions* » – comprend des cibles et des indicateurs spécifiques, il n'existe aucun mécanisme formel reliant l'ODD 13 aux objectifs de l'Accord de Paris, ce qui entraîne des processus parallèles.

Bien que l'eau ne soit pas mentionnée dans l'Accord de Paris en tant que tel, elle constitue une composante essentielle de la majorité des stratégies d'atténuation et d'adaptation. Ainsi, elle est clairement identifiée comme étant la première des priorités pour les actions d'adaptation dans la majorité des contributions prévues déterminées au niveau national (CPDN). De plus, elle est directement ou indirectement reliée à tous les autres domaines prioritaires. De la même manière, l'eau n'est que rarement mentionnée dans le Cadre de Sendai en lui-même, même si elle est mentionnée dans chacune des priorités d'action et est au cœur de ses sept objectifs.

Les défis relatifs au développement, à l'élimination de la pauvreté et à la durabilité sont étroitement liés aux défis relatifs à l'adaptation aux changements climatiques et à l'atténuation de ses effets, en particulier par le biais de l'eau. De ce fait, l'eau pourrait constituer un lien, tant entre les ODD eux-mêmes qu'entre des cadres politiques comme l'Accord de Paris.

Gestion des ressources en eau, infrastructures et écosystèmes

Les changements climatiques créent des risques supplémentaires pour les infrastructures liées à l'eau, ce qui exige toujours plus de mesures d'adaptation.

Les événements extrêmes liés à l'eau, exacerbés par les changements climatiques, augmentent les risques pour les infrastructures d'adduction d'eau, d'assainissement et d'hygiène (WASH), tels que l'endommagement des systèmes d'assainissement ou l'inondation des stations de pompage des égouts. La propagation consécutive des matières fécales, ainsi que des protozoaires et des virus associés, peut entraîner de graves dangers pour la santé et une contamination croisée.

En ce qui concerne les infrastructures de stockage de l'eau, il est nécessaire de réévaluer la sécurité et la durabilité des barrages, pour déterminer d'éventuelles modifications ou leur désaffectation, réduire leurs impacts environnementaux et sociaux, et optimiser leurs services.

Dans de nombreuses régions du monde, les aquifères disposent de la plus importante capacité de stockage, d'une ampleur souvent plus importante à celle des eaux de surface. Les eaux souterraines sont également plus protégées contre la variabilité climatique saisonnière et pluriannuelle, et moins immédiatement vulnérables que les eaux de surface.

A l'avenir, les ressources « non conventionnelles » en eau devront être davantage prises en compte dans les planifications. La réutilisation de l'eau (ou le recyclage de l'eau) pour diverses utilisations est une alternative fiable par rapport aux ressources conventionnelles en eau pour autant qu'elle soit traitée et utilisée correctement. Le dessalement peut augmenter le volume d'eau douce disponible, mais ce procédé consomme généralement beaucoup d'énergie et peut ainsi contribuer à l'émission de GES si la source d'énergie n'est pas renouvelable. La récupération de l'humidité atmosphérique, qui englobe l'ensemencement des nuages et la collecte de brouillard, est une approche à faible coût et qui demande peu d'entretien pour les zones localisées où le brouillard advectif est abondant.

L'essentiel des émissions de GES liées à la gestion de l'eau et à l'assainissement provient soit de l'énergie utilisée pour alimenter les systèmes et soit des processus biochimiques impliqués dans le traitement de l'eau et des eaux usées. Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ainsi que réduire la consommation inutile d'eau et la perte en eau, signifient à la fois une plus faible consommation d'énergie et, en conséquence, de plus faibles émissions de GES.

Les zones humides abritent les plus grands réservoirs de carbone parmi les écosystèmes terrestres et stockent deux fois plus de carbone que les forêts. Tenant compte du fait que les zones humides offrent de multiples avantages connexes (notamment l'atténuation des inondations et des sécheresses, la purification de l'eau et la biodiversité), leur restauration et leur conservation sont critiques.

Réduction des risques de catastrophe

Les impacts actuels et les risques futurs prévus associés aux événements extrêmes exigent des solutions durables pour l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des risques de catastrophe (RRC).

L'éventail de stratégies d'adaptation aux changements climatiques et de RRC disponibles comprend d'une part des mesures d'ordre techniques (structurelles) et, d'autre part, d'ordre politique. Parmi les exemples de mesures techniques, on peut citer le renforcement du stockage de l'eau, la mise en place d'infrastructures à l'épreuve des changements climatiques et l'amélioration de la résistance des cultures par l'introduction de variétés résistantes aux inondations et à la sécheresse. Parmi les exemples de mesures politiques, on peut citer l'assurance contre les inondations et la sécheresse, les systèmes de prévision et d'alerte rapide, l'aménagement du territoire et le renforcement des capacités (éducation et sensibilisation).

Ces deux ordres de mesures vont souvent de pair. L'aménagement urbain, par exemple, peut contribuer à renforcer la résilience aux risques d'inondation en établissant des réseaux d'évacuation des eaux qui permettent de recueillir et stocker en toute sécurité les eaux de crue. La ville agit donc comme une « éponge », limitant les ondes de tempête et libérant l'eau de pluie comme une ressource.

Les méthodes de communication modernes, telles que les réseaux sociaux et les services de téléphonie mobile, offrent des possibilités importantes pour aider à améliorer l'efficacité de la communication et de l'alerte rapide. Les systèmes de surveillance des sécheresses et des inondations sont également une composante importante de la réduction des risques.

Intégrer les questions de genre et impliquer la communauté dans les prises de décisions constitue un élément clé des stratégies de RRC. Il est nécessaire d'améliorer la coordination interinstitutions en matière de gestion des ressources en eau et des risques de catastrophe, en particulier dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, où elle reste fragmentée dans la majeure partie du monde.

Santé humaine

Les effets prévus sur la santé en raison des changements climatiques liés à l'eau sont notamment la propagation de maladies d'origine alimentaire, hydrique et transmises de manière vectorielle, de la mortalité des décès et des blessures associées à des événements météorologiques extrêmes comme les inondations des côtes et de l'intérieur des pays ; ainsi que de la sous-nutrition en conséquence de pénuries alimentaires dues à des sécheresses et des inondations. Les impacts sur la santé mentale associées à la maladie, aux blessures, aux pertes économiques et au déplacement peuvent également être conséquentes, même s'ils sont difficiles à mesurer.

À la fin de la période des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) (2000–2015), 91 % de la population mondiale utilisait une source d'eau potable améliorée, tandis que 68 % utilisait des installations sanitaires améliorées. Davantage de mesures sont nécessaires pour atteindre des niveaux plus élevés de services d'approvisionnement en eau et d'assainissement gérés en toute sécurité, conformément aux ODD, pour les 2,2 milliards et 4,2 milliards de personnes, respectivement, qui ne disposent pas de ce niveau de service.

Les changements climatiques sont susceptibles de ralentir ou d'affaiblir les progrès en matière d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement gérés en toute sécurité, et d'entraîner une utilisation inefficace des ressources si la conception et la gestion des systèmes ne sont pas résilientes aux changements climatiques. Les progrès réalisés en vue de l'élimination et du contrôle des maladies transmises par l'eau et liées à l'assainissement seront également, par extension, ralentis ou affaiblis par les changements climatiques.

Alimentation et agriculture

Les défis spécifiques à la gestion de l'eau destinée à l'agriculture ont deux aspects. Le premier défi est le besoin d'adapter les modes de production actuels pour gérer les incidences accrues de pénurie ou d'excès d'eau (prévention et évacuation des eaux d'inondations). Le second est de « décarboniser » l'agriculture par le biais de mesures d'atténuation des effets des changements climatiques réduisant les émissions de GES et renforçant la disponibilité de l'eau.

La portée de l'adaptation dans le cadre de l'agriculture pluviale est globalement déterminée par la capacité des variétés de culture à résister aux changements de température et à supporter le manque d'eau dans les sols. L'irrigation permet aux calendriers des cultures d'être reprogrammés et intensifiés, offrant ainsi un mécanisme d'adaptation clé à des terres qui dépendaient auparavant entièrement des précipitations.

En ce qui concerne les tonnes de CO₂ équivalentes, la plus grande contribution aux émissions agricoles de GES provient de la libération de méthane par le bétail via la fermentation entérique et le fumier épandu dans les pâturages. En ce qui concerne les forêts, la plus importante possibilité d'atténuation réside dans la réduction des émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts.

L'agriculture dispose de deux moyens principaux de réduire les émissions de GES : le stockage du carbone par le biais de l'accumulation de matière organique en surface et sous terre, ainsi que la réduction des émissions grâce à la gestion des terres et de l'eau, y compris l'adoption des apports d'énergétiques renouvelables tel que le pompage solaire.

L'agriculture intelligente face au climat (AIC) est une série reconnue d'approches éclairées de la gestion des terres et de l'eau, de la conservation des sols et des pratiques agronomiques qui stockent le carbone et qui réduisent les émissions de GES. L'AIC contribue à maintenir la structure, la matière organique et l'humidité des sols dans des conditions plus sèches, et comprennent des techniques agronomiques (notamment l'irrigation et le drainage) visant à ajuster ou étendre les calendriers des cultures pour s'adapter aux variabilités climatiques tant saisonnières qu'interannuelles.

Énergie et industrie

Les effets des changements climatiques liés à l'eau engendrent des risques pour les entreprises et la production d'énergie. Le stress hydrique peut stopper la production de biens ou d'énergie. Les impacts présenteront également des aspects opérationnels, en nuisant à l'approvisionnement en matériaux bruts, en perturbant les chaînes d'approvisionnement et en endommageant les installations et les équipements.

L'énergie est au cœur des initiatives relatives aux changements climatiques, puisque près de deux tiers des GES anthropiques proviennent de la production et de l'utilisation d'énergie. Il existe plusieurs possibilités d'atténuer les GES et de réduire l'utilisation de l'eau simultanément. Réduire la demande en énergie et améliorer le rendement énergétique est un point de départ. L'utilisation renforcée de technologies relatives aux énergies renouvelables à faibles émissions de carbone – telles que, par exemple, l'énergie photovoltaïque et éolienne – est prometteuse et n'a que peu d'exigences en eau ; de plus, leurs coûts deviennent de plus en plus compétitifs par rapport à la production d'énergie d'origine fossile. Même si, dans le secteur de l'énergie, l'hydroélectricité continuera de jouer un rôle dans l'atténuation des effets des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci, la durabilité de l'ensemble de chaque projet doit être évaluée. Elle devrait prendre en compte la consommation éventuelle d'eau via l'évaporation autant que via des émissions de GES à partir des réservoirs, sans oublier les impacts écologiques et socioéconomiques potentiels.

En ce qui concerne les entreprises, le stress hydrique est l'un des principaux facteurs de réutilisation de l'eau et d'efficacité. Combinée à des technologies, une installation pourrait gérer des gestes de la vie courante comme l'utilisation d'eau douce, le renforcement du contrôle et la détection des fuites. À une échelle plus vaste, une entreprise pourrait évaluer son empreinte eau et englober celle de ses fournisseurs, ce qui pourrait avoir de vastes répercussions s'ils sont de grands utilisateurs d'eau.

Établissements humains

On compte parmi les effets des changements climatiques sur les systèmes hydriques urbains, d'une part des températures plus élevées, des précipitations réduites et une sécheresse plus sévère et d'autre part, des précipitations de plus en plus importantes ainsi que des inondations. C'est précisément ces extrêmes qui rendent si difficiles l'aménagement urbain et la fourniture d'infrastructures.

Les infrastructures physiques de distribution d'eau et les installations sanitaires peuvent également être perturbées, ce qui peut provoquer une contamination de l'eau potable et un déversement d'eaux usées non traitées et ainsi que d'eaux de ruissellement dans les lieux de vie. Des maladies à transmission vectorielles comme la malaria, la fièvre de la vallée du Rift, la leptospirose et d'autres maladies apparaissent souvent après des inondations.

La résilience de l'eau urbaine s'étend au-delà des villes. Dans les cas où l'approvisionnement en eau dépend de bassins versants distants, la planification doit s'étendre bien au-delà des frontières des villes et tenir compte des impacts à long terme de l'expansion urbaine sur les écosystèmes d'eau douce et des communautés locales qui en dépendent également.

Au sein des petits établissements urbains et ruraux, l'utilisation de l'eau pour l'agriculture et, dans certains cas, pour l'industrie, la rend moins disponible l'eau pour l'usage domestique. L'approvisionnement des ménages doit être prioritaire en vertu des droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement.

Prendre en compte des interconnexions

Les actions d'adaptation et d'atténuation d'un secteur peuvent directement influencer sur sa propre demande en eau et, en conséquence, accroître ou réduire la disponibilité ou la qualité de l'eau pour d'autres secteurs aux niveaux local ou régional. Dans les cas de demande en eau réduite, ces actions peuvent avoir de multiples avantages au sein de plusieurs secteurs et au-delà des frontières nationales, tandis qu'une demande en eau accrue peut rendre nécessaires l'établissement de compromis portant sur la répartition d'un approvisionnement limité en eau.

L'utilisation d'eau exige de l'énergie. Toute réduction de l'utilisation d'eau peut ainsi réduire la demande en énergie de la part du domaine de l'eau, contribuant ainsi à atténuer les changements climatiques (si la source d'énergie utilise des combustibles fossiles). À l'inverse, la production d'énergie exige aussi de l'eau. Ne demandant que peu d'eau, les énergies renouvelables comme l'énergie éolienne, ou l'énergie photovoltaïque, ainsi que certaines sortes de génération d'énergie géothermique représentent de loin les meilleures alternatives énergétiques du point de vue de la demande en eau.

Les mesures permettant une efficacité accrue de l'eau dans le secteur agricole peuvent en accroître la disponibilité de l'eau et réduire la quantité d'énergie nécessaire au pompage, réduisant ainsi davantage la quantité d'eau nécessaire à la production d'énergie. L'utilisation accrue d'énergie renouvelable par le secteur agricole (par exemple pompes solaires photovoltaïques) offre la possibilité supplémentaire de réduire les émissions de GES et d'améliorer les moyens de subsistance des petits exploitants. Au vu du fait que l'agriculture représente 69 % des prélèvements d'eau mondiaux, diminuer les pertes alimentaires et les déchets pourrait avoir des répercussions significatives sur la demande en eau et en énergie, réduisant ainsi les émissions de GES.

L'agriculture de conservation permet aux sols de retenir davantage d'eau, de carbone et de nutriments, et présente des avantages écologiques supplémentaires. La biomasse et des sols bien gérés de forêts, zones humides et prairies bien gérés offrent des possibilités d'atténuation grâce au stockage du carbone, ainsi que des avantages supplémentaires significatifs en matière de cycle des nutriments et de biodiversité.

Les approches améliorées du traitement des eaux, en particulier les eaux usées, offrent plusieurs possibilités d'atténuation. Les eaux usées non traitées sont une source importante de GES : plus de 80 % de l'ensemble des eaux usées (au monde) sont libérées dans l'environnement sans avoir été traitées, le traitement de leur matière organique avant leur libération peut donc réduire les émissions de GES. La réutilisation d'eaux usées non ou partiellement traitées peut réduire la quantité d'énergie associée au captage d'eau, au traitement avancé et au transport, dans les cas où les eaux usées sont réutilisées ou se trouvent près du site où elles sont déversées. Le biogaz produit par les processus de traitement des eaux usées peut être récupéré et utilisé pour alimenter la centrale de traitement elle-même, rendant ce processus neutre sur le plan énergétique et renforçant les économies d'énergie ultérieures.

Gouvernance

Le climat et la gestion de l'eau exigent tous deux des mécanismes de supervision et de coordination. La fragmentation sectorielle et la compétition bureaucratique peuvent présenter des difficultés importantes lors de l'intégration entre les niveaux d'action. Il est donc nécessaire : i) d'assurer une plus grande participation du public pour discuter des risques climatiques et les gérer ; ii) de renforcer les capacités d'adaptation à plusieurs niveaux ; et iii) de placer en priorité la réduction des risques pour les groupes socialement vulnérables.

Une « bonne gouvernance » implique d'adhérer aux principes des droits de l'homme, notamment : l'efficacité, la capacité de réponse rapide et la redevabilité ; l'ouverture et la transparence ; la participation à l'exercice de fonctions de gouvernance fondamentales liées aux accords politiques et institutionnels ; la planification et la coordination ; ainsi que la réglementation et l'obtention de licences. La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) fournit, pour élaborer le fonds, un processus visant à impliquer les parties prenantes à tous les niveaux de la société, de l'économie et de l'environnement.

Une plus grande participation du public en vue de gérer les risques climatiques est recommandée pour renforcer les capacités d'adaptation à plusieurs niveaux, éviter les pièges institutionnels et placer en priorité la réduction des risques pour les groupes socialement vulnérables. Des informations et données scientifiques doivent simultanément être disponibles au niveau local et intégrées dans les prises de décisions locales multipartites.

Bien que les gouvernements restent chargés de diriger les mesures d'atténuation et d'adaptation des effets des changements climatiques, ainsi que de la gouvernance de l'eau, le processus de changement est toujours réalisé conjointement. De nombreux signes montrent que les jeunes sont de plus en plus préoccupés par les changements climatiques. Les villes sont également des précurseurs de l'action climatique dans de nombreux pays, et les principales entreprises se sont engagées à réduire leur empreinte eau et leurs émissions de GES pour lutter contre le stress hydrique et les changements climatiques auxquels elles contribuent.

La pauvreté, la discrimination et la vulnérabilité sont étroitement liées et s'entrecroisent généralement. Les femmes et les filles appartenant à des groupes ethniques minoritaires ou provenant de zones éloignées ou désavantagées peuvent souffrir de plusieurs formes d'exclusion et d'oppression. Lorsqu'une catastrophe survient, ces inégalités peuvent être exacerbées et rendre les personnes pauvres encore plus vulnérables. Les personnes pauvres sont également susceptibles de perdre davantage que les personnes non pauvres.

Financement

Les niveaux de financement actuels sont insuffisants pour atteindre l'objectif de la communauté internationale relatif à la disponibilité universelle et la gestion durable de l'eau et de l'assainissement. Les promoteurs des projets relatifs à l'eau pourraient viser à augmenter la part de l'eau dans le financement pour le climat et mettre en lumière les liens entre l'eau et les autres secteurs liés au climat pour garantir un meilleur financement de la gestion de l'eau.

Deux tendances prometteuses créent des opportunités d'accès des projets relatifs à l'eau. La première est la reconnaissance accrue du potentiel d'atténuation des projets sur l'eau et l'assainissement. Cette tendance pourrait s'avérer particulièrement avantageuse, car l'atténuation représentait 93,8 % du financement de l'action climatique en 2016, tandis que les projets sur l'eau ne constituaient qu'une fraction de 1 % de ce total. La deuxième tendance est l'accent de plus en plus mis sur le financement de l'adaptation au climat.

L'accès au financement de projets liés au climat peut être compétitif et difficile, surtout lorsqu'il s'agit de projets sur l'eau qui sont complexes et transfrontaliers. Les projets liés au climat susceptibles d'être financés sont ceux qui sont clairement articulés entre les effets des changements climatiques, sont familiers avec les procédures de financement et les observent strictement à rigueur appliquée et, parfois,

disposent de sources de financement complémentaires. Pour qu'ils soient considérés aptes à recevoir un financement, les projets doivent aborder les causes et/ou les conséquences des changements climatiques de manière explicite. Les projets qui transmettent et abordent les risques et qui, également, reflètent les avantages connexes dans d'autres domaines, tels que la santé, sont également considérés aptes à recevoir un soutien financier.

Les stratégies adaptées distinctes prenant spécifiquement en compte les besoins en résilience des groupes marginalisés devraient également être intégrées à des plans et des projets sur l'eau et le climat de plus grande envergure.

Innovation technologique

On compte parmi les défis en matière d'innovation technologique, de gestion des connaissances, de recherche et de développement des capacités, le fait de promouvoir l'élaboration de nouveaux outils et de nouvelles approches par le biais de la recherche et du développement avancés. Il est tout aussi important d'accélérer l'application des connaissances et des technologies existantes dans tous les pays et toutes les régions. Ces efforts n'auront cependant les résultats escomptés que si elles s'accompagnent des actions de sensibilisation, de programmes éducatifs et de renforcement des capacités, en vue d'une large diffusion des connaissances disponibles et d'encourager l'adoption de nouvelles technologies ou de technologies existantes.

L'observation de la Terre par satellite peut contribuer à identifier des tendances de précipitation, d'évapotranspiration, du manteau neigeux, de la couche de glace, et de la fonte de ceux-ci, ainsi que de ruissellement et de stockage, y compris au niveau des eaux souterraines. Bien que la télédétection puisse révéler des processus et des caractéristiques à vaste échelle, lesquelles ne sont pas facilement observables en utilisant des méthodes traditionnelles, il est possible que la résolution temporelle et spatiale ne soit pas entièrement adaptée aux applications et à l'analyse de données à plus petite échelle. Cependant, lorsqu'elle est appuyée par des statistiques nationales, des observations sur place et des modèles de simulation numérique, la télédétection peut contribuer à évaluer de manière exhaustive les effets des changements climatiques liés à l'eau.

Les progrès dans le domaine de la collecte de données ont été facilités par des réseaux Internet à haut débit de couverture mondiale, ainsi que par l'informatique en nuage et le renforcement des capacités de stockage virtuel. Des capteurs sans fil pour suivre la consommation d'eau ont été développés et sont de plus en plus utilisés pour permettre de mesurer à distance la consommation d'eau. Les applications d'analyses de mégadonnées peuvent contribuer à obtenir des connaissances en procédant à la collecte de flux continus d'informations et de données relatives à l'eau, en vue d'en extraire des informations et renseignements exploitables pour mieux gérer l'eau. Les sciences participatives et l'externalisation ouverte peuvent contribuer aux systèmes d'alerte rapide et fournir des données permettant de valider les modèles de prévision des inondations.

Perspectives régionales

La régulation interne du développement, de l'utilisation, de la conservation et de la protection des ressources en eau est le fondement de la gouvernance de l'eau, ainsi que le principal outil de mise en œuvre des CPDN en vertu de l'Accord de Paris.

Bien que deux tiers des pays présentent un portefeuille global de projets au sein de leur CPDN, seul un pays sur dix mentionne ce qui pourrait être considéré comme une proposition détaillée ; de plus, ces propositions proviennent soit de processus domestiques de planification en matière d'eau soit de propositions antérieures de financement de l'action climatique. Le besoin d'élaborer des réformes institutionnelles est toutefois bien reconnu dans les CPDN, et il est souvent placé en priorité parallèlement aux investissements dans les infrastructures.

Les approches régionales visant à appuyer de véritables transformations peuvent jouer un rôle crucial dans la mise en œuvre nationale : en renforçant la collaboration et la coordination entre les institutions responsables ; en veillant à ce que l'action se fonde sur des informations et données fiables ; et en améliorant l'accès au financement, tant public que privé, pour l'investissement dans la résilience aux changements climatiques.

Afrique subsaharienne

Les impacts de la variabilité du climat sur les ressources en eau d'Afrique sont déjà sévères, comme le montre la diminution récente des pluies en Afrique australe. Des effets des changements climatiques sur la santé humaine sont également prévus : maladies à transmission vectorielle et transmises par l'eau (y compris à cause d'un accès de plus en plus difficile à une eau potable, un assainissement et une hygiène en toute sécurité) et malnutrition, au vu des conséquences prévues sur la sécurité alimentaire. Au sein des systèmes agricoles, surtout dans les zones semi-arides, les approches conventionnelles fondées sur les moyens de subsistance ne semblent plus assez fiables pour gérer les effets à long terme des changements climatiques.

Les politiques et les mesures relatives à l'adaptation aux changements climatiques et à l'atténuation de ses effets comprennent : apporter de l'appui à la résilience aux sécheresses et inondations en investissant dans les actions visant à améliorer des installations d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'hygiène (WASH) ; étendre la protection sociale et introduire des produits financiers comme l'assurance ; renforcer l'égalité entre les sexes relative à l'utilisation et la gestion des ressources en eau ; et améliorer la disponibilité de l'eau pour l'agriculture grâce à la collecte de l'eau, au paillage et un labourage minimum du sol dans les systèmes pluviaux.

L'énergie est politiquement importante pour atteindre les objectifs de transformation économique de nombreux pays d'Afrique. Elle pourrait agir comme catalyseur encourageant la coopération régionale visant à relever les défis posés par la liaison eau-énergie-climat et ainsi amenant éventuellement des investissements dans des pools énergétiques régionaux et des mécanismes institutionnels de commerce d'énergie.

Europe, Caucase et Asie centrale

Les projections climatiques indiquent une augmentation des précipitations en Europe du Nord et une diminution des précipitations en Europe du Sud. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) souligne les défis de plus en plus nombreux en matière d'irrigation, d'hydroélectricité, d'écosystèmes et d'établissements humains dans la région.

On compte parmi les actions clés visant une adaptation plus efficace et une résilience renforcée aux événements extrêmes dans la région : de meilleures stratégies relatives à l'efficacité de l'eau et l'économie d'eau ; le suivi et le partage des données relatives à la quantité et à la qualité de l'eau ; l'amélioration de la cohérence de l'adaptation aux changements climatiques et de la RRC liés à l'eau ; et l'obtention de financement provenant de sources multiples (par exemple international, national et privé).

Dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, l'aide technique et financière peut être partagée en amont ou en aval, des pays riverains les plus riches aux plus pauvres. Cependant, même lorsque des fonds sont disponibles, la gestion de l'eau transfrontière peut s'avérer difficile d'un point de vue politique. Cela entraîne un besoin de trouver un point d'entrée politiquement marquant autour duquel bâtir une coopération. Dans certains cas, les changements climatiques eux-mêmes peuvent offrir une opportunité de coopération.

Amérique latine et Caraïbes

La variabilité du climat et les événements extrêmes nuisent déjà gravement à la région. En Amérique centrale et du Sud, il est prévu que des changements observés dans l'écoulement fluvial et la disponibilité de l'eau ne cessent de survenir, influant sur les régions vulnérables.

L'urbanisation rapide, le développement économique et les inégalités font partie des principaux facteurs socioéconomiques exerçant des pressions sur les systèmes de l'eau, qui se juxtaposent aux effets des changements climatiques. La pauvreté persiste dans de nombreux pays et contribue à la vulnérabilité aux changements climatiques. Les inégalités économiques se reflètent également dans l'inégalité d'accès à

l'eau et à l'assainissement, et vice-versa. Les risques accrus de maladies transmises par l'eau ont un plus grand impact sur les personnes pauvres. Les zones rurales sont aussi très vulnérables avec des facteurs climatiques qui limitent les options économiques et encouragent la population à migrer.

Pour de nombreux pays de la région, les changements climatiques surviennent dans un contexte de forte compétition intersectorielle pour l'eau, notamment entre, d'une part, les zones urbaines, le domaine de l'énergie et celui de l'agriculture, et, d'autre part les besoins des écosystèmes.

Le fait que les questions liées aux eaux transfrontalières et au climat sont peu mentionnées dans les stratégies de développement est symptomatique de défis plus amples au niveau de la coopération en matière d'eaux transfrontalières en Amérique latine et dans les Caraïbes.

Asie et Pacifique

Les prévisions concernant les effets des changements climatiques liés à l'eau varient beaucoup et sont peu fiables au niveau sous-régional en Asie et dans le Pacifique. La région est très vulnérable aux catastrophes et aux événements météorologiques extrêmes provoqués par les changements climatiques, qui portent disproportionnellement préjudice aux groupes pauvres et vulnérables. Les effets liés à l'eau du climat interagissent avec d'autres tendances socioéconomiques qui altèrent la qualité et la quantité d'eau, notamment l'industrialisation (qui redéfinit la demande du secteur en eau et accroît la pollution), la croissance démographique et l'urbanisation rapide. Cette dernière expose également davantage les populations à des aléas naturels liés à l'eau comme tels que les inondations.

Les changements climatiques et la demande accrue en eau feront subir un stress supplémentaire aux ressources en eaux souterraines de la région, qui sont déjà soumises à des pressions sévères dans certaines zones en raison d'une augmentation de la demande pour l'irrigation.

Au niveau national, les priorités identifiées pour accélérer l'action en faveur de l'eau et du climat comprennent notamment : l'amélioration de la gouvernance et de la productivité de l'eau visant à gérer la compétition entre les besoins en eau de l'agriculture, de l'énergie, de l'industrie, des villes et des écosystèmes ; la promotion de solutions fondées sur la nature qui limitent les émissions et renforcent la résilience ; et l'intégration de la réduction des risques relatifs aux changements climatiques et aux catastrophes dans l'ensemble du cycle des projets et des politiques.

La coopération régionale en matière d'investissement, d'information et de domaines institutionnels, tels que la gouvernance, les capacités et les partenariats, est urgemment nécessaire dans les bassins transfrontières d'Asie.

Asie occidentale et Afrique du Nord

La vulnérabilité aux changements climatiques est modérée à élevée dans la région et augmente généralement du nord au sud. Le ruissellement et l'évapotranspiration suivent généralement les mêmes tendances que les précipitations, bien que l'évapotranspiration soit limitée par la pénurie d'eau.

Les zones les plus vulnérables aux changements climatiques se trouvent dans la Corne de l'Afrique, au Sahel et dans la partie sud-ouest de la péninsule arabe, qui comprennent plusieurs États faisant partie des pays les moins avancés de la région. Bien que leur exposition aux changements climatiques varie, ils montrent tous de faibles capacités d'adaptation.

Les dynamiques socioéconomiques et politiques interagissent avec de grandes difficultés pour faire face aux changements climatiques et des capacités limitées d'adaptation, ce qui influe sur l'eau aux niveaux régional, national et sous-national. La politisation et la militarisation des ressources en eau, le déplacement et la dégradation des infrastructures d'adduction d'eau représentent des défis majeurs pour les pays touchés par les conflits. Les disparités d'accès aux ressources en eau et le contrôle de celles-ci persistent, surtout conjointement à celles qui existent entre les milieux urbain et rural et entre les sexes.

Les parties prenantes régionales ont déterminé de nombreuses priorités et possibilités relatives à l'eau, notamment : rendre plus durable le développement urbain ; accroître les données, renforcer les recherches et l'innovation ; renforcer la résilience des communautés vulnérables exposées aux inondations et aux sécheresses, et menacées par l'insécurité alimentaire ; mieux intégrer les politiques entre l'atténuation, l'adaptation et le développement durable ; et améliorer l'accès au financement, notamment par le biais de fonds international de l'action climatique et du développement de marchés locaux et de produits d'investissement.

Aller de l'avant

Au vu de la nature transversale de l'eau et du climat dans plusieurs secteurs économiques et dans la société, les compromis et les conflits d'intérêts doivent être abordés à tous les niveaux pour négocier des solutions intégrées et coordonnées. Cela exige d'adopter une approche équitable, participative et multipartite de la gouvernance de l'eau dans le cadre des changements climatiques.

Il existe de plus en plus de possibilités d'intégrer de manière plus authentique et systématique l'adaptation et l'atténuation aux investissements dans le domaine de l'eau, rendant ces investissements et les activités associées plus attrayants pour les responsables financiers œuvrant pour le climat. Par ailleurs, plusieurs initiatives sur les changements climatiques liés à l'eau peuvent également offrir des avantages connexes comme, entre autres, la création d'emploi, l'amélioration de la santé publique, la réduction de la pauvreté, la promotion de l'égalité des sexes et l'amélioration des moyens de subsistance.

Malgré les données de plus en plus nombreuses montrant que les changements climatiques modifient le cycle hydrologique mondial, de nombreuses incertitudes apparaissent lors de la projection de leurs impacts à des échelles géographiques et temporelles plus petites. Ces incertitudes ne doivent cependant pas servir d'excuse pour ne pas agir. Elles devraient plutôt constituer une impulsion pour accroître les efforts dans le domaine de la recherche, promouvoir le développement d'outils analytiques pratiques et de technologies innovantes, adopter des approches « sans regret », et renforcer les capacités institutionnelles et humaines nécessaires pour favoriser des prises de décision éclairées et fondées sur la science.

Le besoin d'une coopération plus étroite entre les communautés de l'eau et des changements climatiques existe bien au-delà du domaine de la recherche scientifique. Il est tout d'abord impératif pour la communauté des changements climatiques, et les négociateurs de ce domaine en particulier, de prêter davantage attention au rôle de l'eau et de reconnaître son importance fondamentale pour lutter contre la crise des changements climatiques. Mais il est tout aussi (si ce n'est plus) essentiel pour la communauté de l'eau d'axer ses efforts sur la promotion de l'importance de l'eau, tant pour l'adaptation que pour l'atténuation, d'élaborer des propositions concrètes de projets liés à l'eau pour les inclure dans les contributions déterminées au niveau national (CDN), et de renforcer les moyens et capacités de planification, de mise en oeuvre et de suivi des activités liées à l'eau dans les CDN.

Conjuguer les mesures d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de ses effets par l'intermédiaire de l'eau est aussi une proposition gagnant-gagnant. Cela bénéficie tout d'abord à la gestion des ressources en eau et améliore l'approvisionnement en services relatifs à l'eau et à l'assainissement. Puis, elle contribue également directement à lutter contre les causes et les effets des changements climatiques, y compris à la RRC. Finalement, elle contribue, directement et indirectement, à atteindre plusieurs Objectifs de développement durable (faim, pauvreté, santé, énergie, industrie, action climatique, etc., sans oublier l'ODD 6, l'objectif « sur l'eau ») et un grand nombre d'autres objectifs mondiaux.

Dans une ère caractérisée par des études et des articles sur les effets désastreux des changements climatiques et d'autres crises environnementales mondiales, le présent rapport propose une série de réponses pratiques en matière de politique, de financement et d'action sur le terrain, visant à appuyer nos objectifs communs, nos aspirations individuelles, et bâtir un monde durable et prospère pour tous.

Prologue

L'état des ressources en eau dans le cadre des changements climatiques



Lamas sur les hauts plateaux des Andes (Bolivie).

OMM | Bruce Stewart

UNESCO-PHI | Wouter Buytaert, Anil Mishra et Sarantuyaa Zandaryaa

WWAP | Richard Connor, Jos Timmerman et Stefan Uhlenbrook

Avec la contribution de : Rio Hada (HCDC)

Le Prologue offre un aperçu de l'état des ressources mondiales en eau et des effets potentiels des changements climatiques sur le cycle de l'eau, y compris sur la disponibilité et la qualité de l'eau, la demande en eau, les catastrophes et événements extrêmes liés à l'eau, ainsi que les écosystèmes. Les manques de connaissances, les limites et les incertitudes sont également abordés.

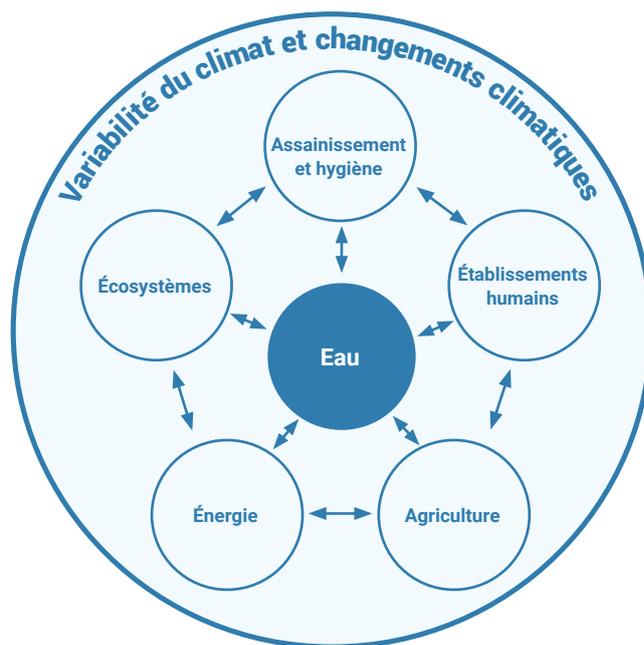
Introduction

L'influence humaine sur le système climatique et le rôle des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) dans le réchauffement de la planète bénéficient désormais d'un consensus scientifique fort (GIEC, 2014a ; 2018a). Le taux d'émissions de GES est plus élevé que jamais (OMM, 2019). Bien que les émissions soient alignées sur les engagements politiques actuels des contributions déterminées au niveau national en vertu de l'Accord de Paris, la communauté scientifique est convaincue que la température moyenne de la planète dépassera le niveau préindustriel d'au moins 1,5 °C après 2030 (GIEC, 2018a).

Les changements climatiques influent sur les ressources mondiales en eau de plusieurs façons ; ils suivent des tendances spatiotemporelles complexes, accompagnés d'effets en retour et provoquent des interactions entre les processus physiques et humains (Bates et al., 2008). Ces effets représenteront d'autant plus de difficultés pour la gestion durable des ressources en eau, qui subissent déjà des pressions extrêmes dans de nombreuses régions du monde (WWAP, 2012) et sont soumises à la variabilité élevée du climat et à des événements climatiques extrêmes. Ils influent notamment sur la disponibilité, la qualité et la quantité de l'eau pour répondre aux besoins humains de base, et menacent la jouissance effective des droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement de potentiels milliards de personnes. Bien que les effets des changements climatiques puissent être très idiosyncratiques au niveau local (GIEC, 2019a), les tendances actuelles et les futures projections indiquent des changements climatiques majeurs ainsi que des événements climatiques plus extrêmes dans de nombreuses régions du monde (GIEC, 2014a). Par conséquent, il est essentiel pour les responsables des ressources en eau de tenir compte des conséquences potentielles d'un climat en évolution pour gérer l'eau, l'élément essentiel du développement durable.

Les changements hydrologiques provenant des changements climatiques posent des risques majeurs pour la société, non seulement directement, à cause de l'altération des processus hydrométéorologiques qui régissent le cycle de l'eau, mais aussi indirectement, en raison des risques pour la production d'énergie, la sécurité alimentaire, le développement économique et les inégalités sociales, entre autres (figure 1). L'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation ses effets grâce à la gestion de l'eau sont donc essentielles au développement durable et nécessaire pour réaliser le Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030), l'Accord de Paris et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe.

Figure 1 Synergies entre l'eau et d'autres secteurs socioéconomiques majeurs touchés par la variabilité du climat et les changements climatiques



Les changements climatiques

Les données scientifiques indiquant que le système climatique se réchauffe sont désormais sans équivoque, et les scientifiques s'accordent sur le rôle des activités humaines dans ce réchauffement. Les émissions anthropiques de GES ont considérablement augmenté depuis la période préindustrielle (figure 2), et les taux de concentrations de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux dans l'atmosphère (figure 3) sont plus élevés qu'au cours des 800 000 dernières années au moins (GIEC, 2014a ; 2018a ; OMM, 2019).

Les effets des émissions de GES, associés à ceux d'autres facteurs anthropiques, ont été observés dans tout le système climatique, et il est extrêmement probable qu'ils soient la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XX^e siècle (GIEC, 2014a). Au niveau mondial, la température moyenne à la surface de la planète a augmenté de près de 0,9 °C depuis le XIX^e siècle (figure 4). La majorité de ce réchauffement est survenu lors des 35 dernières années, et les cinq années les plus chaudes qui aient été enregistrées sont survenues après 2010. Selon les dernières données de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du programme Copernicus sur les changements climatiques, les températures du juillet 2019 ont atteint, et peut-être dépassé, le record du mois le plus chaud depuis le début des analyses (OMM, 2019). Les températures de l'eau des océans sont également à la hausse (Cheng et al., 2019).

Depuis le milieu du XX^e siècle, des changements dans l'intensité et la fréquence des événements météorologiques et climatiques ont également été observés. Plusieurs de ces changements ont été liés à l'influence humaine, notamment la réduction des extrêmes de basses températures et l'augmentation des extrêmes de hautes températures, l'augmentation des niveaux les plus élevés de la mer et l'augmentation du nombre de précipitations importantes dans plusieurs régions (Min et al., 2011).

L'émission continue de GES entraînera un réchauffement encore plus important et des changements durables dans toutes les composantes du système climatique, ce qui renforcera la probabilité d'impacts sévères, omniprésents et irréversibles sur les personnes et les écosystèmes (CNUCED, 2016).

Bien qu'il existe une tendance manifeste dans les températures (figure 5), les tendances des volumes des précipitations sont bien plus incertaines dans de nombreuses régions, par exemple dans de vastes régions subtropicales où se trouvent de nombreux États faisant partie des pays les moins avancés. Par exemple,

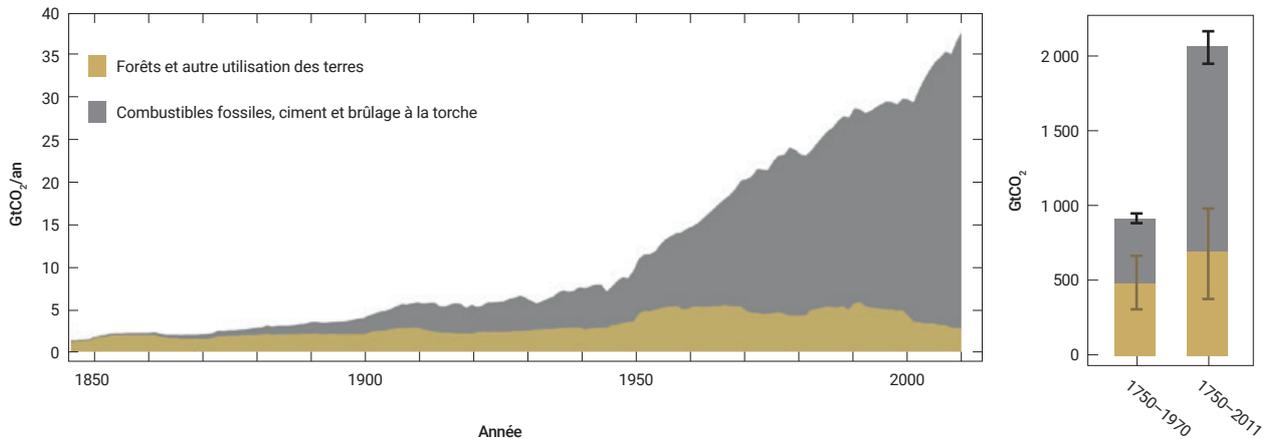
Figure 2 Émissions anthropiques mondiales de CO₂ (1850–2011)

Émissions mondiales anthropiques de CO₂

Les informations quantitatives sur l'émission chronologique de CH₄ et de N₂O de 1850 à 1970 sont limitées

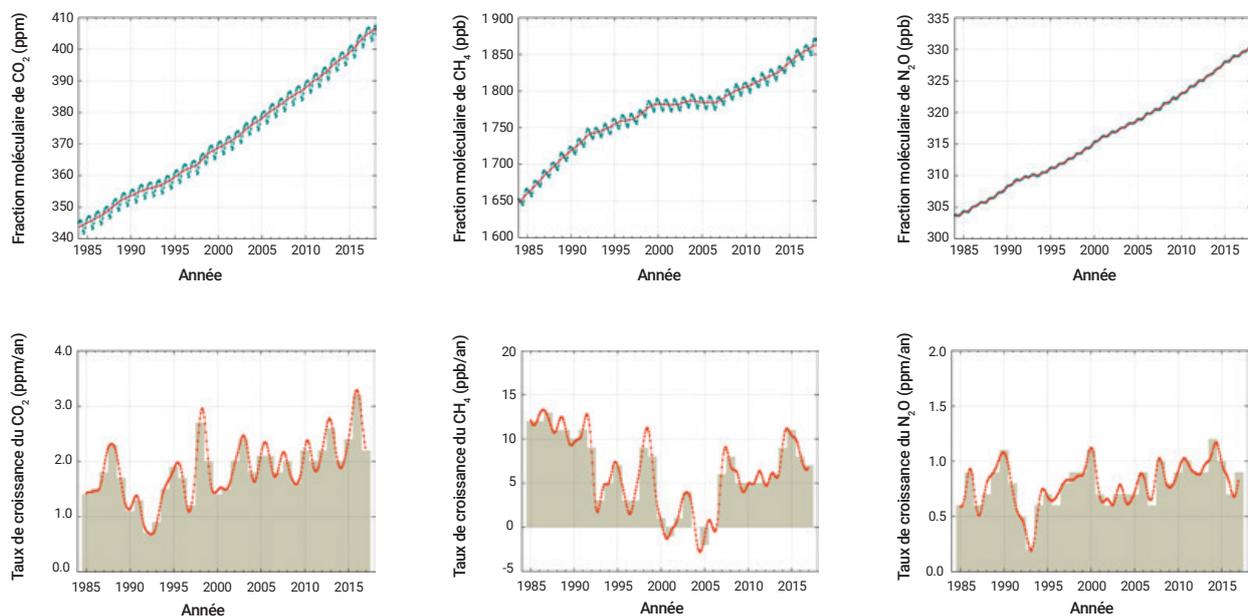
Émissions

cumulatives de CO₂



Source : GIEC (2014a, fig. 1.5, p. 45).

Figure 3 Augmentation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère

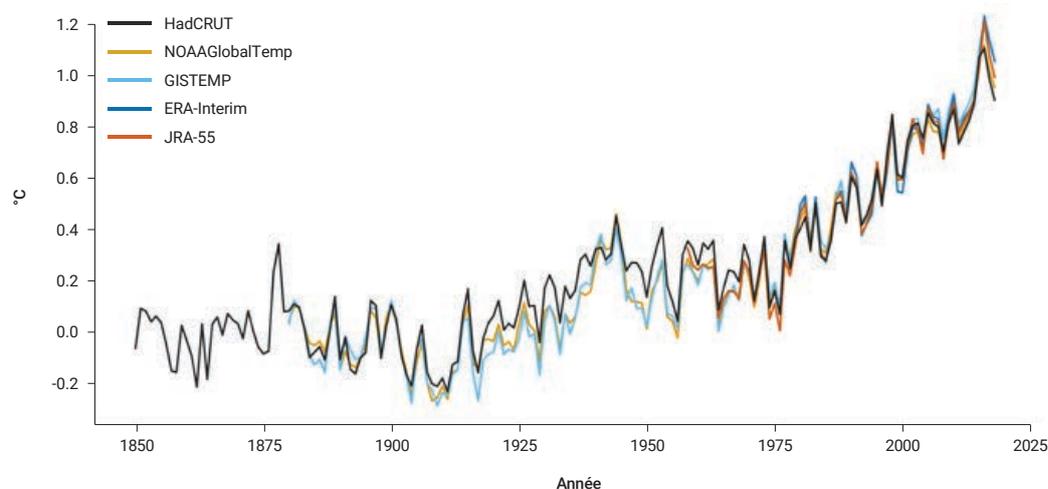


ppm : parties par million
ppb : parties par milliard

Note : *En haut* : fractions molaires (mesure de la concentration) moyennées au niveau global du CO₂ (ppm, à gauche), du CH₄ (ppb, au milieu) et du N₂O (ppb, à droite), de 1984 à 2017. La ligne rouge correspond à la moyenne mensuelle de la fraction molaire, après élimination des variations saisonnières; les ronds et la ligne en bleu indiquent les moyennes mensuelles. *En bas* : taux d'accroissement représentant la hausse des moyennes annuelles successives des fractions molaires du CO₂ (ppm/an, à gauche), du CH₄ (ppb/an, au milieu) et du N₂O (ppb/an, à droite).

Source : OMM (2019, fig. 3, p. 9).

Figure 4 Anomalies dans les températures mondiales moyennes par rapport à la température de référence de 1850–1900 pour les cinq ensembles de données sur la température mondiale



Source : Met Office. © Tous droits réservés à la Couronne britannique.

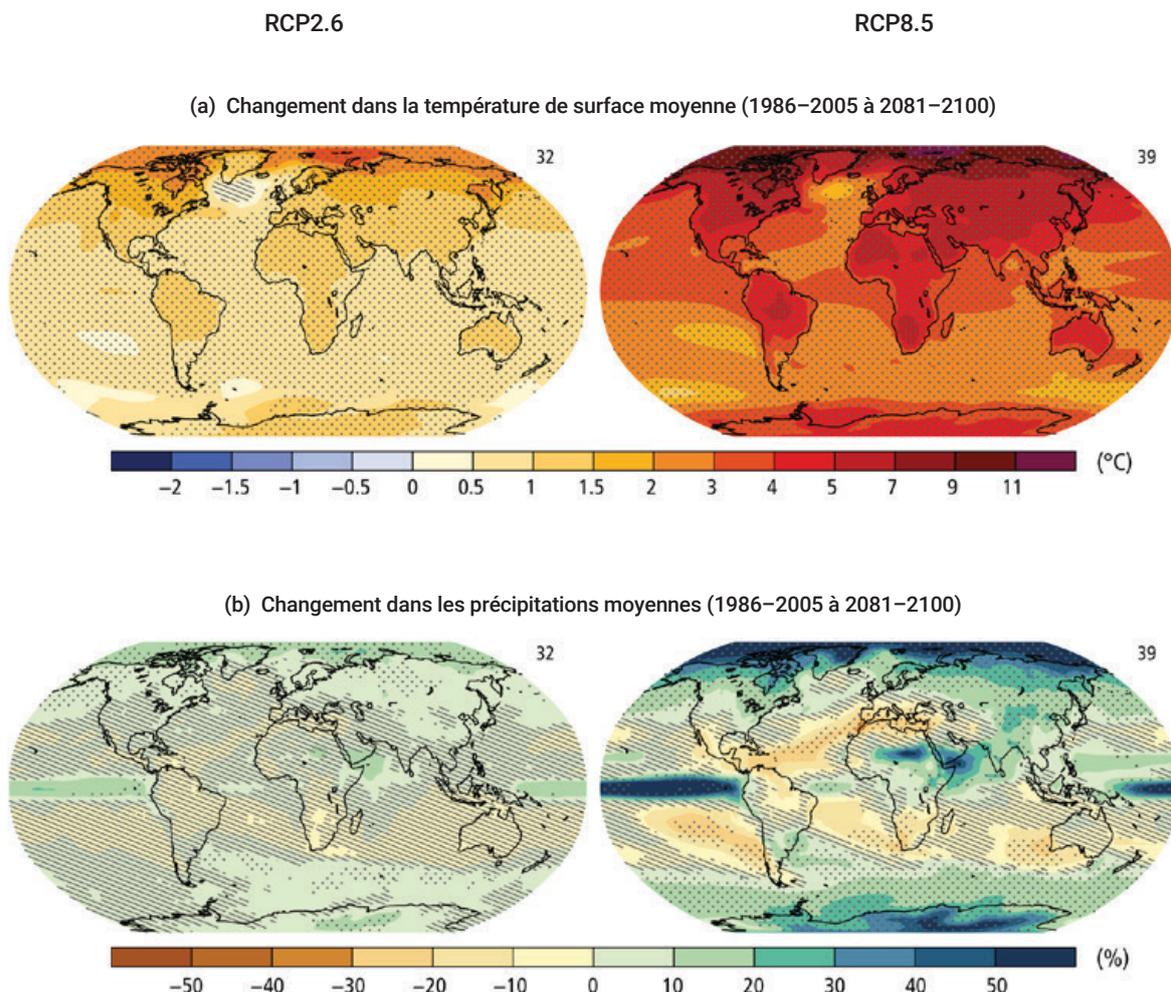
dans le scénario RCP8.5 (*Representative Concentration Pathway* – profils représentatifs d'évolution de concentration des GES), les modèles de circulation générale (MCG) correspondent aux futures tendances de volumes de précipitation pour seulement un tiers de la surface terrestre (GIEC, 2014a). Les incertitudes importantes dans les modèles climatiques, surtout dans les zones de transition entre les régions faisant l'objet de précipitations annuelles en hausse et en baisse, n'excluent aucunement des impacts importants sur les extrêmes météorologiques et les ressources en eau. Même de légers changements dans les températures et le climat (scénarios de faible émission de GES) peuvent avoir de vastes impacts sur la disponibilité de l'eau et les événements extrêmes, en particulier.

Les modèles mondiaux s'accordent dans une vaste mesure sur l'augmentation du nombre d'événements météorologiques extrêmes à l'avenir (Hattermann et al., 2018), encore plus que dans le cas des moyennes annuelles de précipitations (surtout sous les tropiques). Les projections climatiques indiquent de manière fiable que les précipitations extrêmes deviendront plus intenses et fréquentes dans de nombreuses régions, mais également que des vagues de chaleur surviendront plus souvent et dureront plus longtemps (figure 6). Les précipitations extrêmes renforceront le risque d'inondation (Hirabayashi et al., 2013), tandis que les vagues de chaleur rendront les sécheresses plus intenses (Trenberth et al., 2014). Ces risques sont inégalement distribués géographiquement, et sont généralement plus importants pour les personnes et les communautés vulnérables dans des pays se trouvant à différents stades de développement (GIEC, 2014a).

Par exemple, en Afrique de l'Ouest, où le Niger est le bassin fluvial principal, ainsi que dans le haut bassin de l'Amazonie, l'incertitude concernant les projections de précipitations annuelles est très élevée. Dans le même temps, de fortes indications montrent une plus grande proportion de jours secs dans le futur, même si le climat deviendra en moyenne plus humide (Tänzler et Kramer, 2019) (voir section 9.1.3).

Considérant ces faits et les autres menaces provenant du climat en évolution, les États parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ont, lors de la 21^e Conférence des Parties (COP21) à Paris en décembre 2015, conclu un accord historique visant à lutter contre les changements climatiques, à accélérer et intensifier les actions et les investissements nécessaires pour un futur durable favorisant les faibles émissions de carbone. L'Accord de Paris vise principalement à renforcer la réponse mondiale à la menace des changements climatiques en maintenant l'augmentation de la température mondiale sous la barre des 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels, et en poursuivant les efforts visant même à limiter l'augmentation de la température à 1,5 °C.

Figure 5 Cinquième phase de l'exercice de comparaison de modèles couplés (CMIP5) – Projections climatiques moyennes fondées sur les données multimodèles

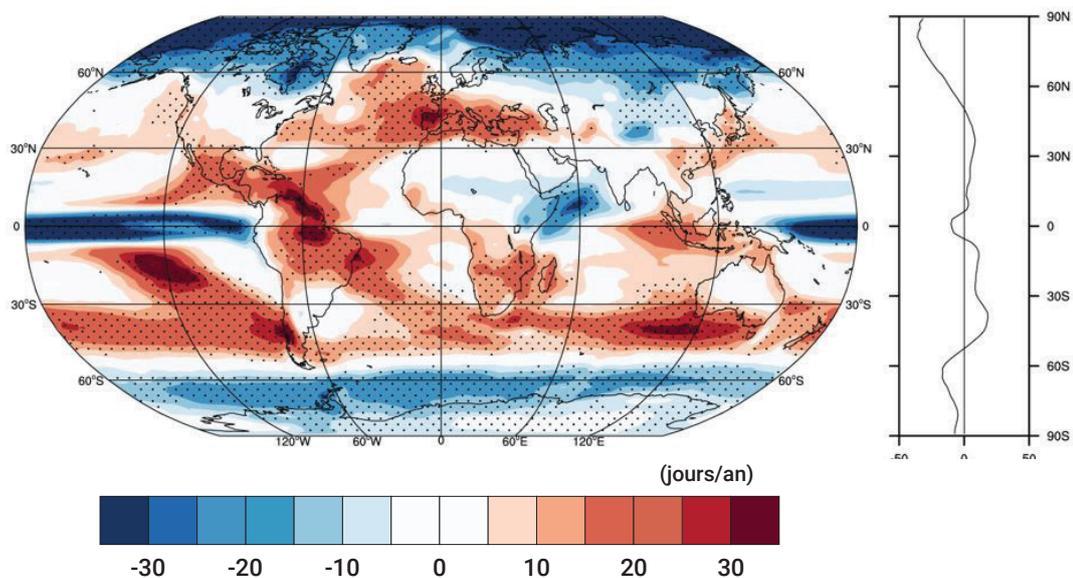


Note : La moyenne des projections des modèles disponibles pour la période 2081–2100 des scénarios RCP2.6 (à gauche) et RCP8.5 (à droite) pour a) les changements dans la température annuelle moyenne en surface et b) les changements dans la précipitation annuelle moyenne, en pourcentages. Les changements sont présentés relativement à la période 1986-2005. Le nombre de modèles CMIP5 utilisés pour calculer la moyenne multimodèles est indiqué en haut à droite de chaque panneau. Les pointillés indiquent les régions où les changements prévus sont importants en comparaison de la variabilité interne naturelle (plus importants que les deux écarts types des moyennes sur 20 ans de la variabilité interne) et où les modèles conviennent d'un signe de changement. Les hachures (lignes diagonales) montrent les régions où le changement prévu est moins important que l'écart type des moyennes sur 20 ans de la variabilité interne naturelle.

Source : Adapté du GIEC (2014a, fig. 2.2, p. 61).

Mais même si cet objectif ambitieux est atteint, certaines tendances actuelles se poursuivront et entraîneront des changements durables, peut-être irréversibles. Cela doit être pris en compte dans la gestion des ressources en eau à l'avenir.

Figure 6 Changement dans la moyenne annuelle et la fréquence des jours secs (jours/an) d'ici 2060–2089 par rapport à la période historique 1960–1989, fondées sur l'ensemble de modèles CMIP5 en utilisant le scénario RCP8.5



Note : Les pointillés indiquent les zones où au moins 70 % des modèles conviennent d'un signe de changement. Graphique à droite : valeurs moyennes par zone.

Source : Polade et al. (2014, fig. 2).

Climat et eau

Le climat de la planète et le cycle de l'eau terrestre ont une relation étroite et complexe (figure 7).

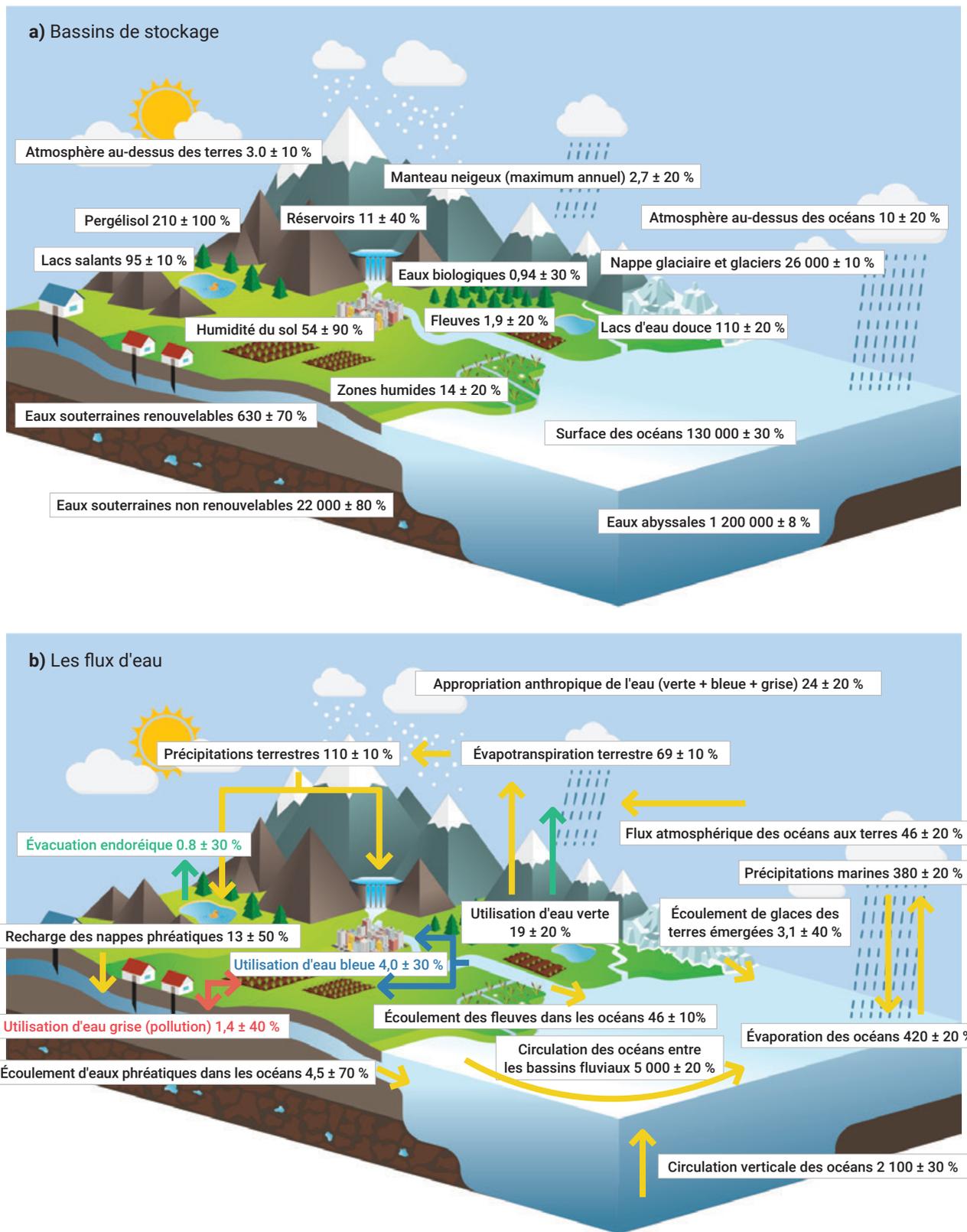
Ainsi, les changements dans la variabilité du climat et les changements climatiques se propageront et influenceront sur les ressources en eau. Par exemple, le déficit pluviométrique affaiblira l'humidité des sols, le débit fluvial et la recharge des nappes phréatiques ; la magnitude de ces effets dépendra toutefois de conditions locales telles que les caractéristiques du sol, la géologie, la végétation et l'utilisation de l'eau.

Du fait des différentes échelles temporelles des processus impliqués, les impacts sur le déficit en eau souterraine (bien qu'ils soient généralement moins prononcés que pour l'eau de surface et qu'ils surviennent plus tard) peuvent durer bien plus longtemps que la sécheresse qui les a provoqués, entraînant donc un « effet mémoire » (Chagnon, 1987). Les inondations, d'autre part, peuvent avoir un impact sur la disponibilité de l'eau, l'assainissement et d'autres aspects des moyens de subsistance humains en endommageant les infrastructures et services essentiels.

Le cycle de l'eau lui-même est également une composante essentielle du système climatique : il contrôle les interactions entre l'atmosphère et la surface terrestre et offre des mécanismes de retour d'informations pour le transport, le stockage et l'échange de masse et d'énergie (figure 7).

Les liens entre le climat et les ressources en eau dépendent de nombreux facteurs anthropiques, y compris mais pas seulement l'utilisation et la couverture des sols, la régulation de l'eau et les systèmes de prélèvement, ainsi que la contamination de l'eau. Grâce à une combinaison du génie « gris » et « vert », comme la construction d'infrastructures de ressources en eau et le développement de pratiques agricoles et de celles relatives à l'utilisation de l'eau, l'humanité a amélioré son accès aux services d'approvisionnement en eau et d'assainissement gérés en toute sécurité tout au long de l'Histoire. Les changements climatiques auront des conséquences sur bon nombre de ces stratégies, de multiples manières, et exigeront donc l'adoption d'une nouvelle approche intelligente face aux changements climatiques dans de la gestion des ressources en eau.

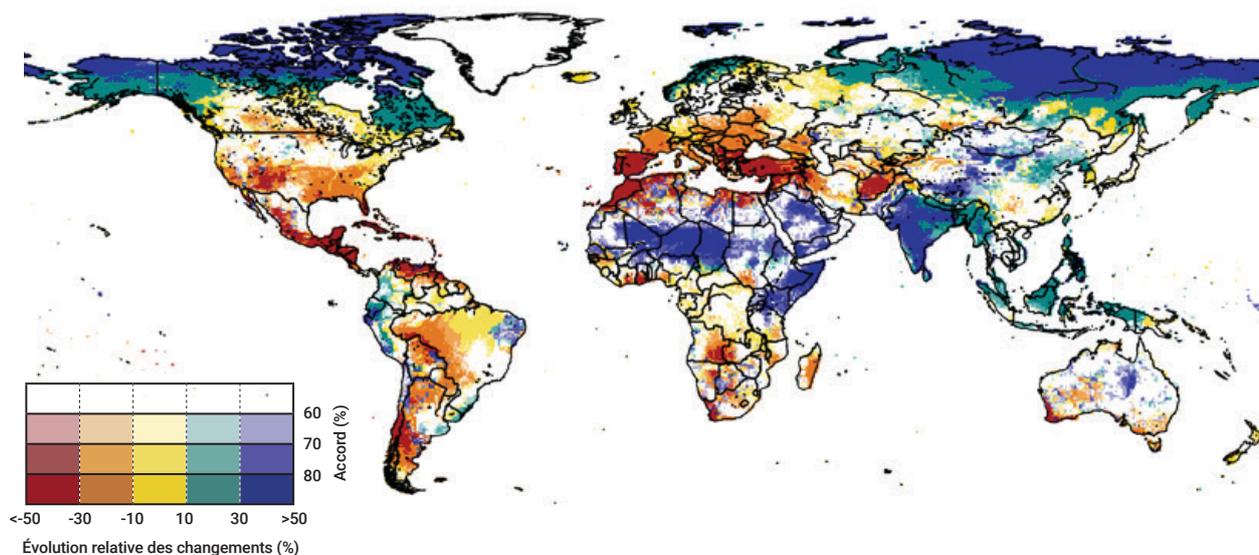
Figure 7 Schéma du cycle global de l'eau à l'ère anthropocène



Note : Les réserves d'eau (en 10³ km³) (a) et débits d'eau majeurs (en 10³ km³ an⁻¹) (b). L'incertitude représente l'étendue des estimations récentes exprimées en %. Dans (b), l'utilisation anthropique totale d'eau (~24 10³ km³ an⁻¹) est divisée en vert (humidité des sols utilisée par les cultures et pâturages anthropiques, flèche verte), bleu (utilisation d'eau non respectueuse des ressources par l'agriculture, l'industrie et les activités domestiques, flèche bleue) et gris (eau nécessaire pour diluer les polluants anthropiques, représentée avec des nuances de rose, flèche rouge). Cette représentation moyenne du cycle de l'eau ne montre pas les variations saisonnières et interannuelles importantes survenant dans de nombreux débits et réserves.

Source : Adapté de Abbott et al. (2019, fig. 3, p. 537).

Figure 8 Tendances des scénarios relatifs aux changements climatiques et à la disponibilité de l'eau



Note : La figure présente le changement relatif dans l'évacuation annuelle dans le cas d'une augmentation de la température de 2 °C par rapport au présent dans le scénario RCP8.5.

Source : Schewe et al. (2014, fig. 1, p. 3246). La licence Attribution-Partage dans les mêmes conditions 3.0 Organisations Internationales (CC BY-SA 3.0) ne s'applique pas à cette figure.

Aperçu des impacts des changements climatiques liés à l'eau

Les changements climatiques altéreront aussi le cycle de l'eau terrestre par l'intermédiaire de nombreux processus différents. Les retours et les interactions entre ces processus, qui ne sont pas tous bien compris ou mesurables aux échelles pertinentes, en rendent difficiles la quantification et la prévision des conséquences. Par ailleurs, le développement et la gestion des ressources en eau ont historiquement été entrepris en vertu du principe de stationnarité¹ des séries hydrologiques temporelles (Milly et al., 2008). Bien que les données hydrologiques recueillies dans le passé offrent des informations précieuses sur les processus et les événements, elles ne sont pas forcément une indication du futur régime hydrologique. Par ailleurs, même si des changements hydrologiques sont détectés, les causes, y compris les changements climatiques, restent souvent incertaines (ONU-Eau, 2019).

Disponibilité de l'eau et stress hydrique

Les changements dans les précipitations et la température (figure 8) auront un impact direct sur le budget pour l'eau terrestre (Schewe et al., 2014). L'évaporation à partir de la surface terrestre se renforcera en conséquence de la tendance mondiale d'augmentation des températures de l'air dans toutes les régions, sauf les régions les plus arides, où le manque d'eau empêche ce renforcement. Il peut être déclenché par une augmentation des précipitations, mais dans de nombreuses régions, surtout celles où les volumes de précipitation diminueront, il provoquera la diminution des volumes d'écoulement fluvial et la disponibilité de l'eau au cours de différentes saisons (GIEC, 2018a).

Des diminutions ont déjà été observées dans les fleuves d'Afrique de l'Ouest (Batisha, 2012), dans le sud-ouest de l'Australie (Australian Academy of Science, 2019), dans le bassin du fleuve Jaune en Chine (Piao et al., 2010) et dans le Pacifique Nord-Ouest des États-Unis d'Amérique (Kalra et al., 2008). Ces diminutions influent directement sur la disponibilité de l'eau pour le prélèvement d'eau aux fins de l'agriculture, l'industrie et l'approvisionnement domestique, ainsi que pour l'utilisation dans les cours d'eau, par exemple pour la production énergétique, la navigation, la pêche, la baignade et, enfin, l'environnement.

¹ Une série temporelle stationnaire comporte des caractéristiques statistiques telles que la moyenne, la variation, l'autocorrélation, etc., qui sont toutes constantes au fil du temps.

Les effets conjugués des changements dans les précipitations et l'évaporation déterminera également les futures tendances relatives à l'humidité des sols et aux eaux souterraines, et aura potentiellement des conséquences sur la fréquence et la gravité des vagues de sécheresse (Van Loon et al., 2016). Une plus grande sécheresse des sols a par exemple été observée au nord de l'Asie centrale et dans le nord-est asiatique (Wang et al., 2011).

Les effets conjugués des changements dans les précipitations et l'évaporation déterminera également les futures tendances relatives à l'humidité des sols et aux eaux souterraines

Les changements dans la cryosphère entraînés par les changements climatiques sont également répandus, ce qui entraîne la diminution mondiale du manteau neigeux et de la couverture glaciaire (Huss et al., 2017). Il est prévu avec une grande certitude, les glaciers et le pergélisol continueront de diminuer dans presque toutes les régions tout au long du XXI^e siècle (GIEC, 2019a). La fonte accélérée des glaciers aura des conséquences négatives sur les ressources en eau des régions montagneuses et des basses terres qui les entourent, et où les régions montagneuses tropicales seront les plus vulnérables (Buytaert, et al., 2017). Bien que la fonte accélérée des glaciers puisse localement et temporairement renforcer le débit fluvial, la diminution de la couverture glaciaire tend à entraîner un débit fluvial plus variable et une réduction du débit de base à long terme, de même que des changements dans la prévision saisonnière des pics de débit fluvial. Le retour à un pic de débit fluvial plus tôt au cours de la saison dans les fleuves alimentés par la neige a été observé dans les fleuves d'Eurasie et d'Amérique du Nord (Tan et al., 2011), tandis que la réduction du débit de base dans les fleuves alimentés par les glaciers s'avère évidente dans les Andes et l'Himalaya (Immerzeel et al., 2010 ; Baraer et al., 2015).

Ces changements sont susceptibles d'exacerber le stress hydrique, qui fait partie des principaux problèmes que rencontreront de nombreuses sociétés et la planète au cours du XXI^e siècle. Au cours du siècle dernier, l'utilisation de l'eau a augmenté à un taux plus de deux fois plus élevé que celui de la croissance démographique (FAO, 2013a). Associé à un approvisionnement plus erratique et incertain, cette utilisation renforcée aggravera la situation de stress hydrique des régions déjà touchées et générera un stress hydrique dans les régions où les ressources en eau sont pour l'instant abondantes.

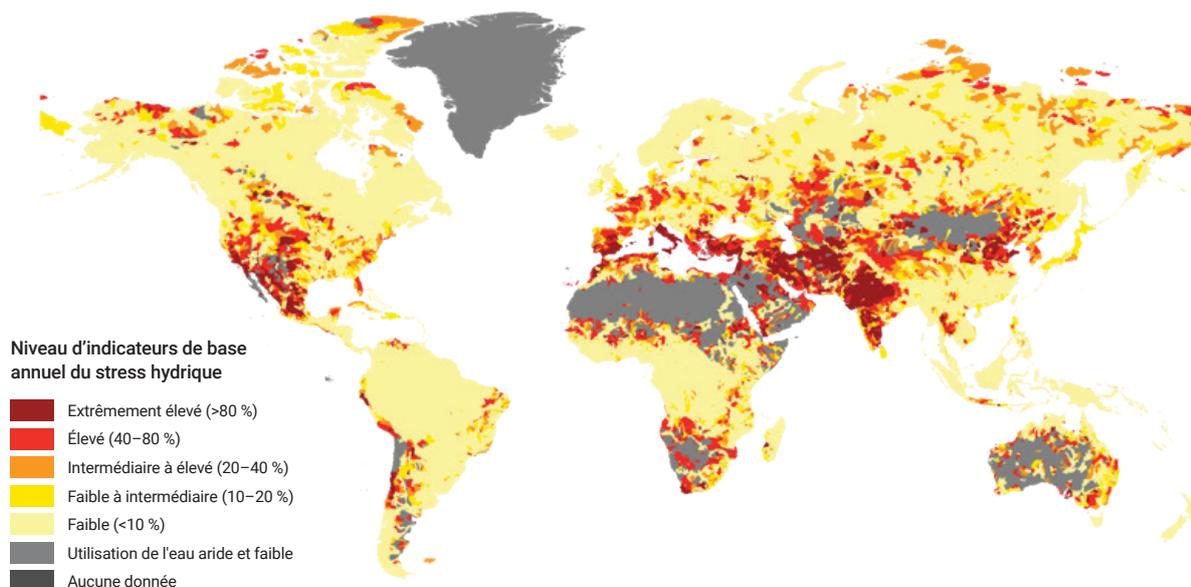
Le stress hydrique influe déjà sur tous les continents (figure 9). La pénurie d'eau physique est souvent un phénomène saisonnier et non un phénomène chronique (figure 10), mais les changements climatiques sont susceptibles d'altérer la disponibilité de l'eau tout au long de l'année dans plusieurs régions (GIEC, 2014a). Près de 4 milliards de personnes sont touchées par la pénurie d'eau physique sévère pendant au moins un mois par an (Mekonnen et Hoekstra, 2016). Près de 1,6 milliard de personnes, soit plus d'un quart aujourd'hui de la population mondiale, subit la pénurie d'eau, ce qui signifie que cette population ne dispose pas des infrastructures nécessaires pour avoir accès à l'eau (ONU-Eau, 2014).

Au vu de la densité de population élevée des villes et de l'urbanisation accrue, l'approvisionnement urbain en eau est particulièrement vulnérable. On estime que, d'ici 2050, 685 millions de personnes vivant dans plus de 570 villes subiront un déclin supplémentaire de la disponibilité d'eau douce, en partie (10 %) en raison des changements climatiques (figure 11). Certaines villes comme Amman, Melbourne et Cape Town peuvent être soumises à une diminution de 30 % à 49 % de la disponibilité d'eau douce, tandis que Santiago, la capitale du Chili, peut être soumise à une diminution de plus de 50 % (C40 Cities, 2018).

Les répercussions et impacts sociaux sont susceptibles d'être graves. La pénurie d'eau, exacerbée par les changements climatiques, pourrait coûter à certaines régions 6 % de leur produit intérieur brut (PIB), et provoquer des migrations et des conflits (FAO/Groupe de la Banque mondiale, 2018).

À travers les questions liées à l'eau, les connaissances au sujet des effets des changements climatiques sur l'agriculture se sont significativement renforcées au cours des 20 dernières années. Les résultats convergents montrent que les changements climatiques altéreront fondamentalement les tendances de production alimentaire par le biais de la disponibilité de l'eau. Les impacts sur la productivité des cultures seront négatifs dans les régions tropicales de basses latitudes, mais seront relativement

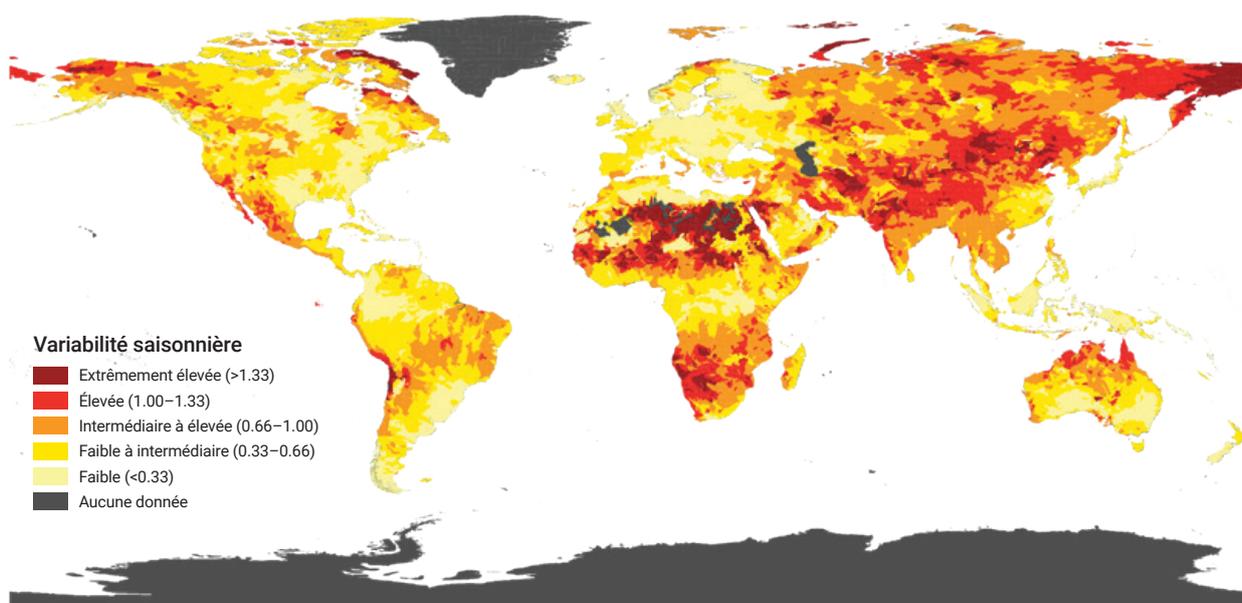
Figure 9 Niveau d'indicateurs de base annuel du stress hydrique



Note : Le niveau d'indicateur de base du stress hydrique mesure le rapport entre le prélèvement d'eau total avec l'approvisionnement renouvelable en eau disponible. Le prélèvement d'eau comprend les utilisations aux fins domestiques, industrielles, irrigation et pour le bétail, aussi bien pour l'utilisation consommatrice que pour l'utilisation non consommatrice. L'approvisionnement renouvelable en eau disponible comprend l'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine, et tiennent compte de l'impact de l'utilisation consommatrice d'eau et des grands barrages en amont sur la disponibilité de l'eau en aval. Les valeurs plus élevées indiquent davantage de compétition entre les utilisateurs.

Source : WRI (2019).

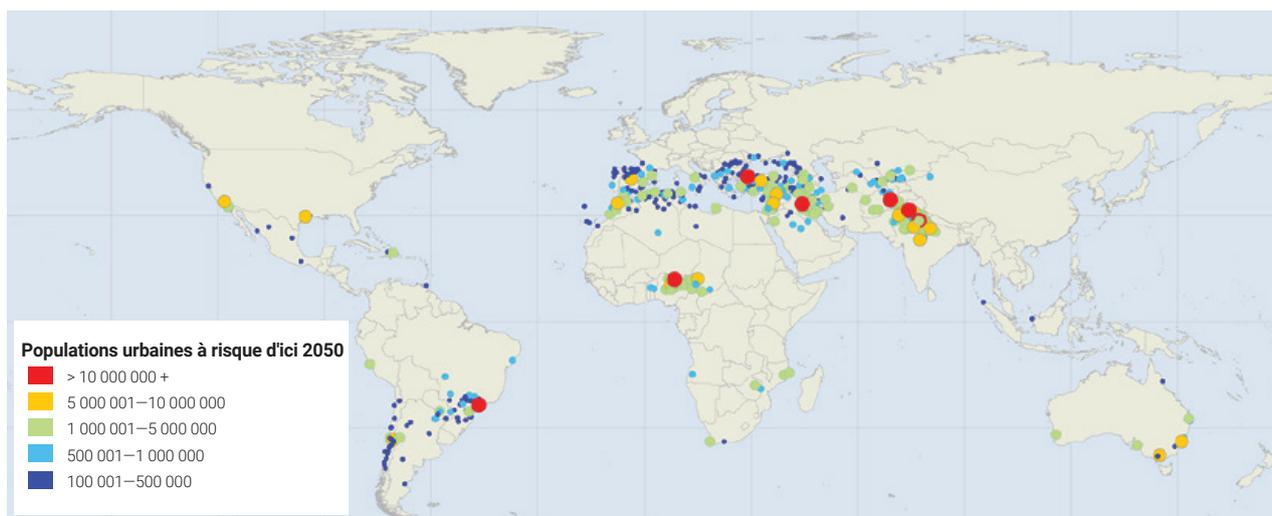
Figure 10 Variabilité saisonnière de l'approvisionnement en eau



Note : La variabilité saisonnière mesure la moyenne de variabilité au cours d'une année l'approvisionnement en eau disponible, y compris l'approvisionnement renouvelable en eaux de surface et de souterraine. Les valeurs plus élevées indiquent de plus grandes variations dans l'approvisionnement disponible au cours d'une année.

Source : WRI (2019).

Figure 11 Diminution de la disponibilité de l'eau en milieu urbain



Source : UCCRN (2018, fig. 5, p. 25).

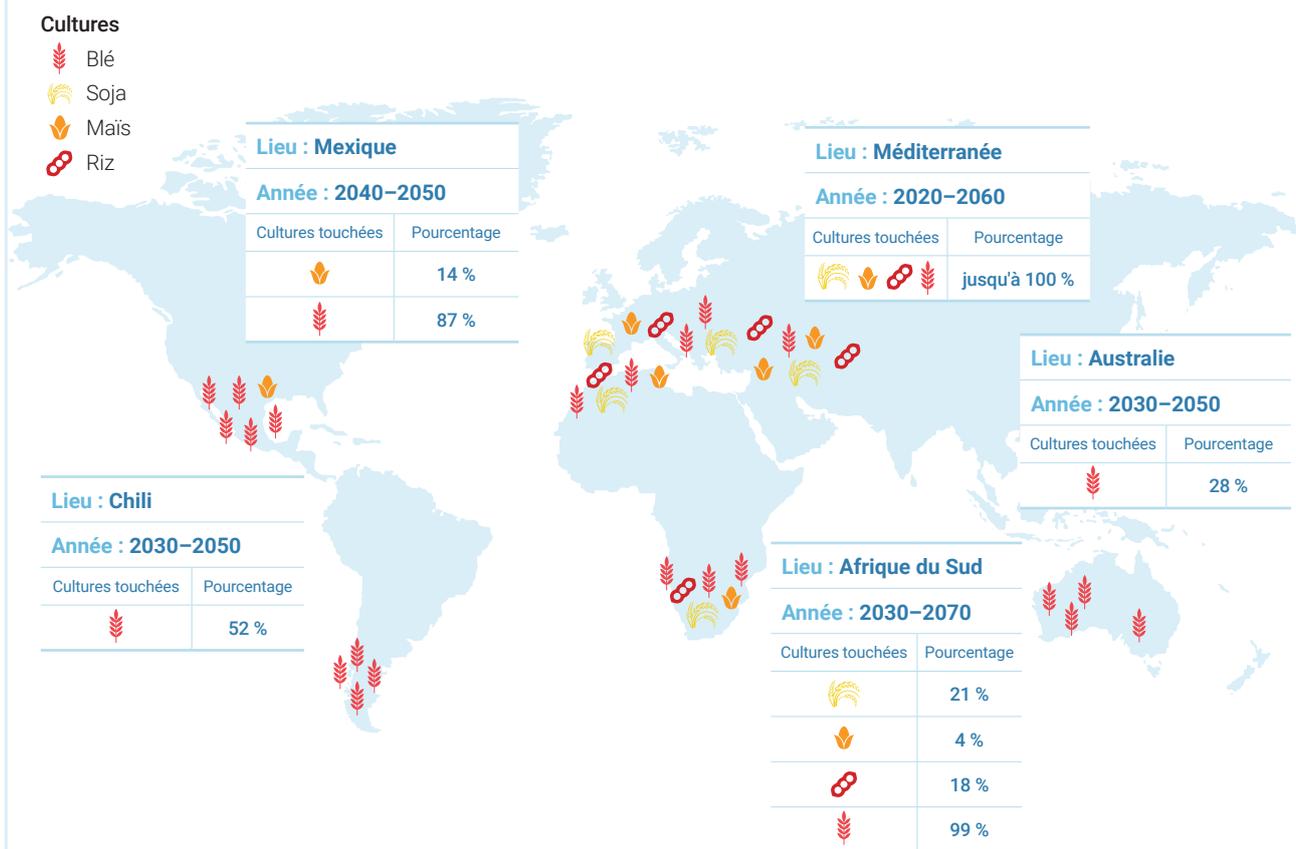
positifs dans les régions de hautes latitudes. D'ici 2040, les précipitations seront plus disponibles pour le blé, le soja, le riz et le maïs, même si les cibles d'émissions de l'Accord de Paris sont atteintes. Les projections montrent que certaines parties d'Europe, d'Afrique, d'Amérique et d'Australie seront plus sèches, tandis que les tropiques et les régions du Nord seront plus humides (figures 12 et 13) (Rojas, et al., 2019). Au vu du fait que l'eau agit comme intermédiaire des effets des changements climatiques sur l'agriculture, la pénurie d'eau accrue présentera, dans de nombreuses régions du monde, un défi majeur pour l'adaptation aux changements climatiques.

Qualité de l'eau

Les ressources mondiales en eau douce sont de plus en plus polluées par les déchets organiques, les pathogènes, les fertilisants et les pesticides, les métaux lourds et les polluants émergents. La pollution de l'eau par la matière organique est en augmentation en raison des déversements municipal et industriel accrus d'eaux usées, de l'intensification de l'agriculture (notamment l'élevage du bétail) et de la diminution des capacités de dilution dans les fleuves à cause de la réduction du ruissellement et des prélèvements d'eau (Zandaryaa et Mateo-Sagasta, 2018). L'eutrophisation est un phénomène généralisé mondialement, qui provient de l'enrichissement des eaux de surface en nutriments à cause d'une gestion inefficace des eaux usées et du ruissellement agricole. La contamination par des agents pathogènes est le problème de qualité de l'eau le plus répandu dans les pays en développement en raison de services d'eau et d'assainissement dangereux (OMS/UNICEF, 2017). Les polluants émergents présentent un nouveau défi mondial en matière de qualité de l'eau, tant dans les pays développés que les pays en développement, et représentent une menace potentiellement grave à la santé humaine et aux écosystèmes.

La prolifération des efflorescences algales nuisibles (HAB) provenant des changements climatiques se renforce en raison de températures de l'eau plus élevées attribuées par le réchauffement de la planète. De nombreux lacs et estuaires partout dans le monde, qui fournissent de l'eau potable à des millions de personnes et soutiennent les services écosystémiques, contiennent déjà des cyanobactéries toxiques, nuisibles, qui modifient la chaîne alimentaire et entraînent l'hypoxie. Par exemple, en Chine, plus de 60 % des lacs sont victimes de l'eutrophisation et des HAB (Shao et al., 2014). Les changements climatiques influent gravement sur notre capacité à contrôler ces phénomènes ou les rendent presque impossible (Havens et Paerl, 2015).

Figure 12 Cultures principales exposées à des conditions plus sèches



Cette carte montre les pays où certaines terres consacrées à des cultures principales (blé, soja, riz, maïs) seront soumises à des conditions plus sèches, de manière permanente, en raison des changements climatiques (Rojas et al., 2019). Par exemple, entre 2020 et 2060, 28 % des terres actuellement réservées à la culture de blé en Australie recevront moins de précipitations en raison des tendances actuelles d'émissions de GES.

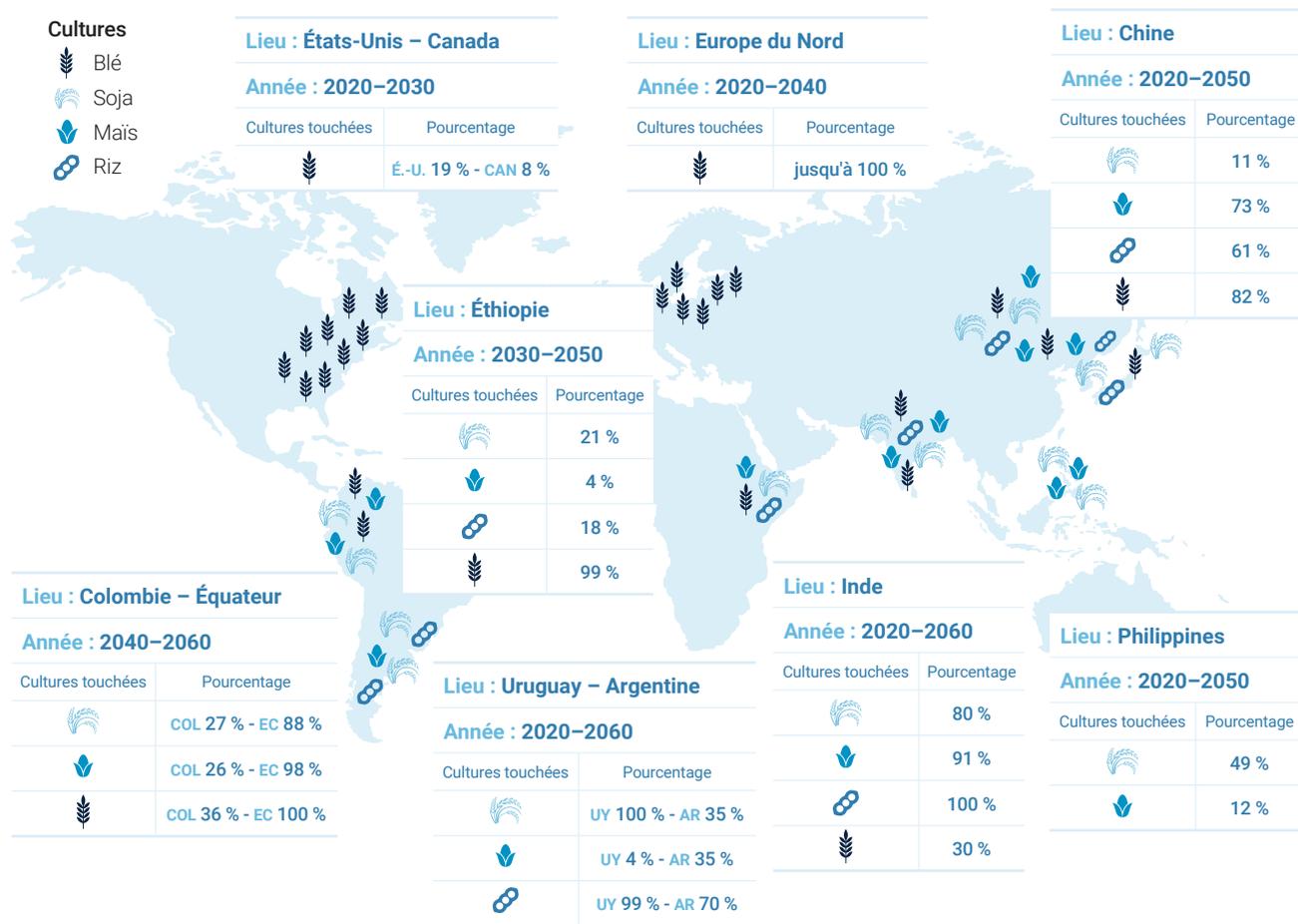
Source : Adapté de CIAT (2019).

L'eau douce et les zones humides côtières subissent déjà des impacts humains tels que l'altération des régimes hydrologiques et la détérioration de la qualité de l'eau. Les changements climatiques sont susceptibles de faire subir un stress encore plus important aux zones humides et écosystèmes aquatiques mondiaux, et d'avoir des répercussions négatives sur la pêche et l'aquaculture (Poff et al., 2002). Ces changements dans la qualité de l'eau n'entraînent pas seulement le bien-être économique et social, mais également la durabilité des débits écologiques vitaux, des écosystèmes et de la biodiversité (WWAP, 2017).

Demande en eau

Au cours des 100 dernières années, l'utilisation mondiale d'eau a été multipliée par six (figure 14), et continue d'augmenter rapidement de 1 % par an (AQUASTAT, n.d.) en conséquence de la croissance démographique, du développement économique et de l'évolution des tendances de consommation. En 2012, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a établi des projections montrant que la demande en eau augmenterait de 55 % entre 2000 et 2050 au niveau mondial, et proviendrait surtout d'une demande accrue dans les domaines de la production (+ 400 %), de la génération d'énergie thermique (+ 140 %) et de l'usage domestique (+ 130 %) (OCDE, 2012). Une autre étude a conclu que la planète pourrait subir un déficit mondial en eau de 40 % d'ici 2030 dans le scénario du statu quo (*business-as-usual*) (2030 WRG, 2009).

Figure 13 Cultures principales exposées à des conditions plus humides



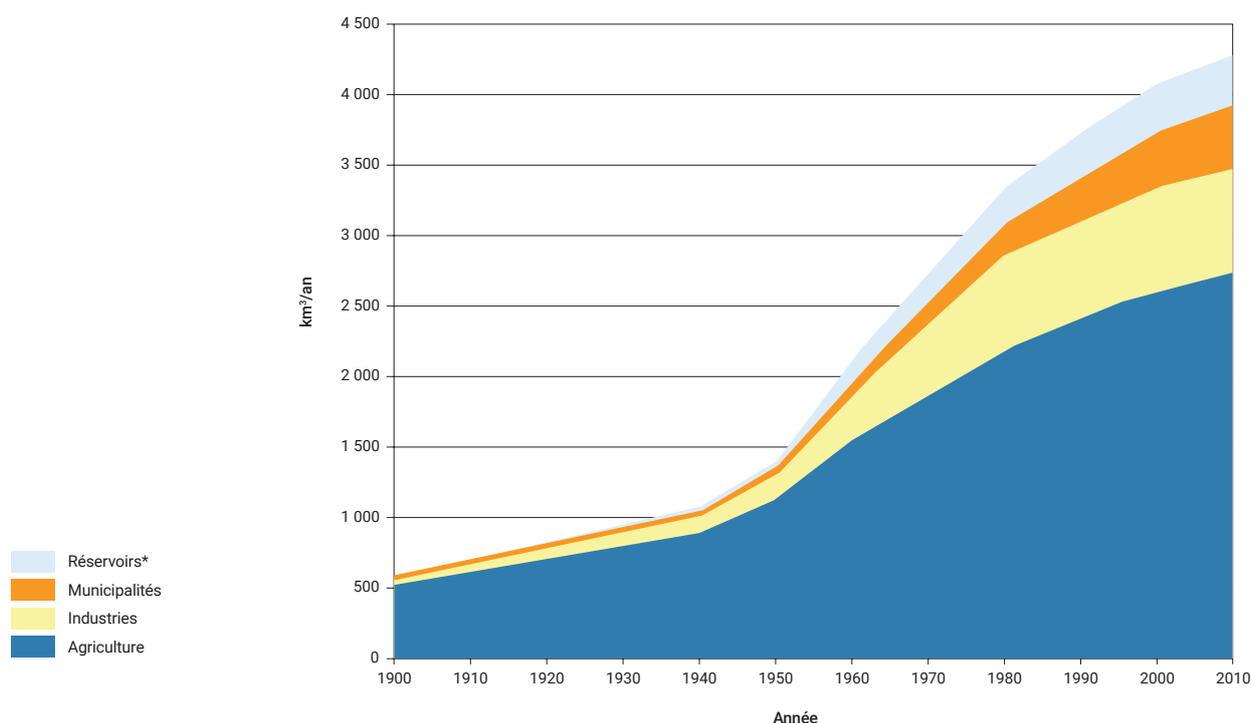
Note : Cette carte montre les pays où certaines terres consacrées à des cultures majeures (blé, soja, riz, maïs) seront soumises à des conditions plus humides, de manière permanente, en raison des changements climatiques (Rojas et al., 2019). Par exemple, entre 2020 et 2060, 82 % des terres actuellement réservées à la culture de blé en Chine recevront davantage de précipitations en vertu des tendances actuelles d'émissions de GES.

Source : Adapté de CIAT (2019).

Face à des demandes concurrentes, accroître le volume d'eau utilisé pour l'irrigation, qui représente actuellement 69 % de l'ensemble des prélèvements d'eau (AQUASTAT, n.d.), aura une portée limitée. Bien que l'OCDE prévoie une diminution des taux mondiaux de prélèvements d'eau aux fins de l'irrigation, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime une augmentation de 5,5 % des prélèvements d'eau aux fins de l'irrigation de 2008 à 2050 (FAO, 2011a). Les écarts de ces projections mettent en lumière la difficulté de prévoir l'évolution de la demande en eau au niveau mondial. Cependant, « indépendamment de l'ampleur des futurs déficits hydriques mondiaux, et surtout locaux, la pénurie d'eau va probablement limiter les opportunités de croissance économique et la création d'emplois décents dans les décennies à venir ». (WWAP, 2016, p. 22).

Le réchauffement de la planète exacerbera davantage cette tendance : la demande en eau tend à augmenter avec la température (Gato et al., 2007). Cela fera subir des pressions significatives aux autorités chargées de l'approvisionnement en eau pour maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande en eau. Évaluer les effets des changements climatiques sur la demande en eau est donc crucial pour s'assurer que l'on répond à la demande en eau dans un contexte de conditions climatiques en évolution. La température et les précipitations sont les variables climatiques les plus communément utilisées dans la modélisation de la demande en eau (Haque et al., 2015).

Figure 14 Taux mondial de prélèvements d'eau au cours du 20^e siècle, en km³/an



* Évaporation à partir de lacs artificiels.

Source : AQUASTAT (2010).

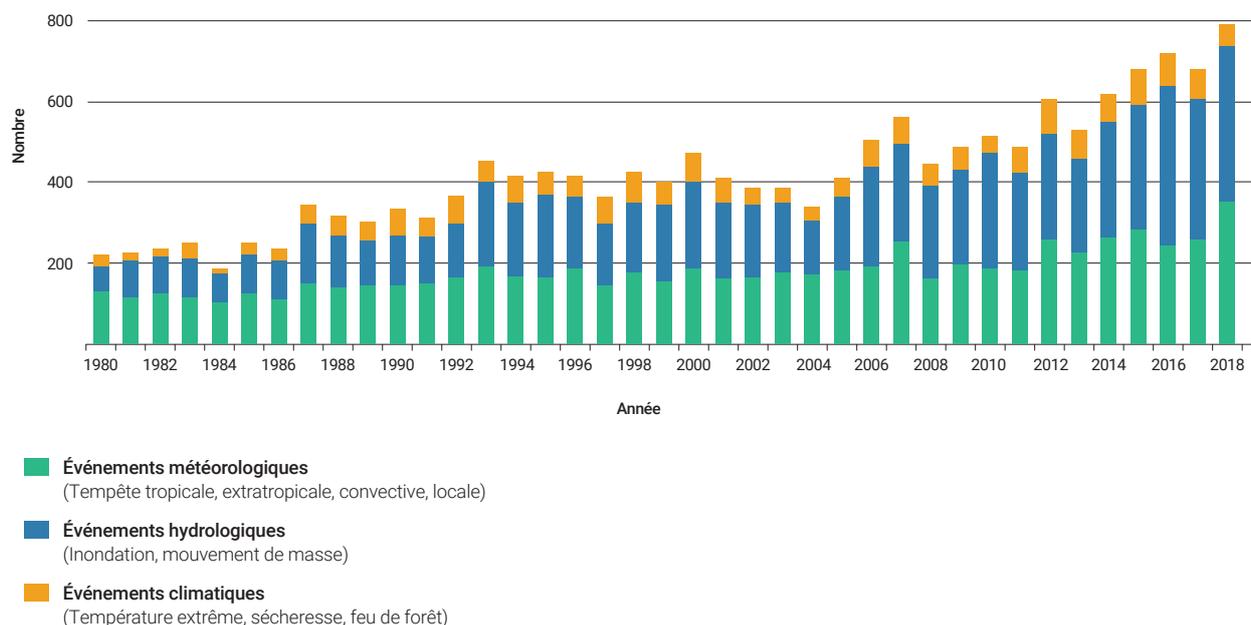
La croissance démographique, l'augmentation des revenus, le changement dans les tendances de consommation et l'expansion des villes entraîneront une augmentation sensible de la demande en eau, tandis que l'offre se fera plus erratique et incertaine. Cet écart peut générer un stress hydrique dans les régions disposant actuellement de ressources en eau abondantes, comme en Afrique centrale et en Asie de l'Est (Banque mondiale, 2016a).

Catastrophes et événements extrêmes liés à l'eau

Les changements dans les tendances de précipitations suite aux changements climatiques accroîtront l'intensité et la fréquence des inondations et des sécheresses dans de nombreuses régions (Hirabayashi et al., 2013 ; Asadieh et Krakauer, 2017). Ces changements peuvent également avoir des effets secondaires. Associés par exemple à des changements dans la végétation, ils déstabiliseront également les pentes et rendront le paysage plus vulnérable aux inondations et aux glissements de terrain soudains (Gariano et Guzzetti, 2016).

Les inondations et précipitations extrêmes au niveau mondial ont augmenté de plus de 50 % ces dix dernières années, et surviennent actuellement à un rythme quatre fois plus soutenu qu'en 1980. D'autres événements climatiques extrêmes, tels que les tempêtes, les sécheresses et les vagues de chaleur, ont augmenté de plus d'un tiers au cours des dix dernières années et sont enregistrés deux fois plus souvent qu'en 1980 (EASAC, 2018). La figure 15 montre les tendances à la hausse des catastrophes mondiales liées aux inondations, ainsi que des événements météorologiques et climatiques.

Figure 15 Catastrophes naturelles mondiales liées au climat, par risque et par nombre d'événements pertinents, 1980–2018



Note : Les événements attribués ont entraîné au moins un décès ou engendré des pertes normalisées équivalentes ou supérieures à 100 000, 300 000, 1 million ou 3 millions de dollars EU (selon le classement de la Banque mondiale du groupe de revenu du pays touché).

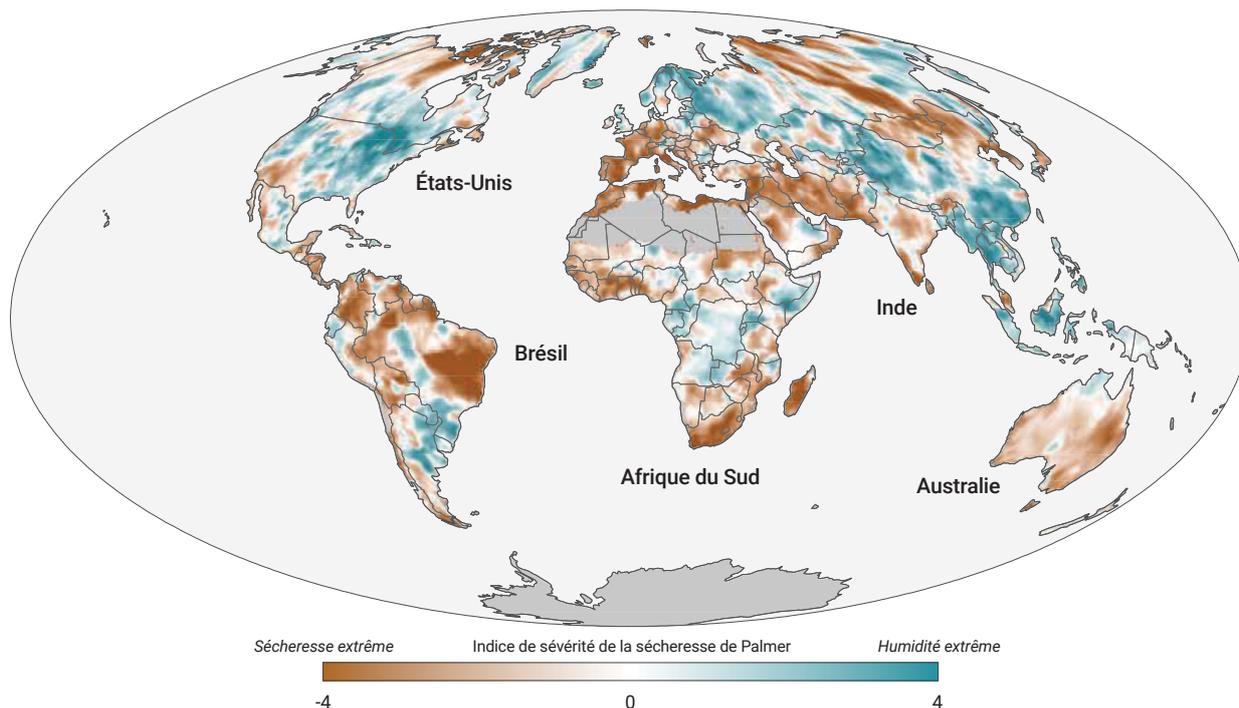
Source : MunichRE NatCatService (2018).

Les zones humides saines servent de puits de carbone, et les zones humides en dégradation sont des sources substantielles de GES

Au cours des 20 dernières années, les deux principaux types de catastrophes liées à l'eau – inondations et sécheresses – ont fait plus de 166 000 morts, touché plus de 3 milliards de personnes et provoqué des pertes économiques totales s'élevant à près de 700 milliards de dollars EU (EM-DAT, 2019). Les sécheresses ont représenté à elles seules 5 % des catastrophes naturelles, touchant 1,1 milliards de personnes, tué 22 000 personnes et entraînant des pertes économiques s'élevant à 100 milliards de dollars EU en dommages sur une période 20 ans (1995–2015). En dix ans, le nombre d'inondations est passé d'une moyenne annuelle de 127 en 1995 à 171 en 2004 (CRED/UNDDR, 2015).

Comme le montre la figure 16, les tendances mondiales de sécheresse en 2017 sur la base de l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer, qui utilise des données relatives à la température régionale et aux précipitations pour estimer l'aridité. Les conditions mondiales de sécheresse se sont temporairement améliorées au début de l'année 2017 par rapport aux années précédentes. Les sécheresses mondiales ont atteint leur niveau le plus élevé à partir de la fin de l'année 2015, et sont restées à un niveau élevé tout au long de 2016, mais ont rapidement diminué au début de l'année 2017.

Figure 16 Indice mondial de sévérité des sécheresses, 2017



Note : Les conditions de sécheresse apparaissent en nuances de marron, et les conditions d'humidité apparaissent en nuances de bleu vert. Plus la couleur est sombre, plus les conditions (sécheresse ou humidité) sont intenses, et les conditions relativement normales s'approchent du blanc.

Source : Scott et Lindsey (2018) , basée sur Blunden et al. (2018, fig. 2.32, p. S37).

Écosystèmes liés à l'eau

Les écosystèmes aquatiques, comme les lacs, les fleuves et les zones humides couvertes de végétation, font partie des environnements les plus biologiquement divers et offrent de multiples avantages et services à la société, ce qui les rend essentiels pour atteindre plusieurs Objectifs de développement durable (ODD) (WWAP/ONU-Eau, 2018). Bien qu'ils ne représentent que 0,01 % de l'eau mondiale et couvrent près de 0,8 % de la surface de la Terre, ces écosystèmes offrent un habitat à près de 10 % des espèces mondiales connues.

Dans les environnements arides, les sources d'eau accueillent près de la moitié des espèces (ONU Environnement/ONU-Eau, 2018). Par ailleurs, les écosystèmes aquatiques ont une valeur économique, culturelle, esthétique, récréative et éducative considérable. Ils contribuent à maintenir le cycle de l'eau, le cycle du carbone et le renouvellement des nutriments. En outre, ils assurent la sécurité de l'eau, offrent une eau douce naturelle, régulent les flux et les conditions extrêmes, purifient l'eau et rechargent les aquifères. D'autres services dépendent aussi de ces écosystèmes, qui offrent de l'eau pour la boisson, l'agriculture, l'emploi, la production énergétique, la navigation, la baignade et le tourisme. Par ailleurs, les services de l'eau s'étendent au-delà de l'approvisionnement en eau aux êtres humains : ils fournissent les plantes et les animaux, qui à leur tour rendent service aux humains en termes de biodiversité, d'alimentation, d'énergie, du tourisme, d'infrastructures vertes, etc.

Nombre de ces écosystèmes, en particulier les forêts et les zones humides, sont en danger, de même que leurs services écosystémiques aquatiques. Les changements dans le débit des eaux par l'intermédiaire des systèmes fluviaux ou des ondes de tempêtes côtières menacent

de détruire de nombreuses zones humides, ce qui entraînerait la perte des services de filtration, d'absorption et de stockage du carbone qu'ils offrent actuellement. Les activités humaines (telles que la construction de barrage et la cultivation de zones humides et de forêts) font aussi subir des pressions importantes aux écosystèmes (Blumenfeld et al., 2010). Les conditions de chaleur et de sécheresse augmenteront les risques d'incendie pour tous les types de forêts, et les saisons de plus en plus chaudes et longues dans les forêts de montagnes pourraient entraîner un accroissement des ravageurs.

Les zones humides sont également d'importantes réserves de carbone. Les tourbières stockent, à elles seules, deux fois plus de carbone que les forêts de la planète. Les zones humides saines servent de puits de carbone, et les zones humides en dégradation sont des sources substantielles de GES. L'étendue des zones humides a nettement décliné (35 %) entre 1970 et 2015 (Crump, 2017).

L'état actuel des écosystèmes aquatiques mondiaux, dont la majorité est déjà dégradée et polluée, est alarmant. Au cours des 100 dernières années, on estime que la planète a perdu la moitié de ses zones humides naturelles, et avec elles un nombre important d'espèces d'eau douce (PNUE/ONU-Eau, 2018).

Près d'une espèce sur 10 de plantes, de mammifères, de poissons, de reptiles, d'insectes et de mollusques, représentant près de 126 000 espèces, vit dans des écosystèmes d'eau douce, bien que ces derniers ne couvrent que près de 1 % de la surface de la planète. Près de 880 de ces espèces ont subi un déclin de 83 % selon l'Indice planète vivante eau douce. Les régions les plus à risque sont la région néotropicale (- 94 %), le bassin Indo-Pacifique (- 82 %) et l'écozone afrotropicale (- 75 %) ; les reptiles, les amphibiens et les poissons sont les plus vulnérables (FME, 2018). Au cours du XX^e siècle, les poissons d'eau douce disposaient du taux d'extinction le plus élevé des vertébrés.

La température accrue de l'eau altérera également les niveaux biogéochimiques des écosystèmes d'eau douce, ce qui provoquera la détérioration de la qualité de l'eau, par exemple à cause de la prolifération des HAB plus fréquentes et de la croissance accélérée des pathogènes (Chapra, et al., 2017).

Infrastructures d'adduction d'eau

Les projections des besoins en investissements pour la sécurité hydrique divergent, mais elles indiquent toutes que l'échelle des investissements devrait substantiellement augmenter (voir chapitre 12). Les estimations mondiales indiquent 6 700 milliards de dollars EU d'ici 2030 et 22 600 milliards de dollars EU d'ici 2050 (CME/OCDE, 2015). Pour réaliser la composante eau-assainissement-hygiène de l'ODD 6 d'ici 2030, on estime que les investissements en capital doit tripler (pour atteindre 1 700 milliards de dollars EU), et que les frais d'exploitation et de maintenance seront proportionnellement plus élevés (Hutton et Varughese, 2016). La FAO estime que, par rapport aux niveaux d'investissement de 2005/2007, 960 milliards de dollars EU en investissements en capital sont nécessaires pour étendre et améliorer l'irrigation d'ici 2050 dans 93 pays en développement (Koohafkan, 2011).

Les changements climatiques créent des risques supplémentaires pour les infrastructures liées à l'eau, ce qui exige toujours plus de mesures d'adaptation

Des investissements sont nécessaires, non seulement pour les nouvelles infrastructures, mais également pour la maintenance et l'exploitation du stock existant, en vue d'améliorer l'efficacité et de réduire les pertes en eau. Les changements climatiques créent des risques supplémentaires pour les infrastructures liées à l'eau, ce qui exige toujours plus de mesures d'adaptation.

Des investissements devront être consacrés à la création d'infrastructures d'adduction d'eau appropriées dans les pays en développement, ainsi qu'à l'amélioration des infrastructures existantes dans les économies avancées. De nombreux pays développés dépendent d'infrastructures vieillissantes, conçues et construites en vertu du principe de stationnarité des séries hydrologiques temporelles, et de nombreux réseaux hydrauliques à l'approche de la fin de leur durée de vie programmée. Par exemple, au Royaume-Uni, 75 % des réseaux d'eau urbains ont plus de 100 ans (Water UK, 2011).

Régions sensibles aux risques – PEID, semi-arides, arrière-pays littoraux et montagneuses

Petits États insulaires en développement

Les petits États insulaires en développement (PEID) sont généralement considérés comme vulnérables, d'un point de vue environnemental et socioéconomique, aux catastrophes et aux changements climatiques. Ils disposent également souvent de ressources limitées pour les services d'approvisionnement en eau douce. Le nombre de catastrophes survenant dans les PEID augmente à un rythme plus élevé que la moyenne mondiale, et la fréquence et l'intensité des catastrophes sont susceptibles de se renforcer en raison des changements climatiques (Gheuens et al., 2019). Ces facteurs conjugués toucheront les PEID aux niveaux social et environnemental, affaibliront leurs capacités d'adaptation, leurs ressources et leur résilience. L'élévation du niveau de la mer est une préoccupation majeure pour de nombreuses îles de faible élévation : l'interface entre eau de mer et eau douce se déplacera à l'intérieur des pays et réduira les volumes d'eau souterraine disponibles (UNESCO-PHI/PNUJ, 2016). En raison de la demande accrue (par exemple, la croissance démographique et le tourisme) et de l'offre réduite (par exemple, la pollution et les changements dans les tendances de précipitations), les ressources en eau douce sont de plus en plus limitées, et sont souvent soumises aux effets d'entraînement WMO d'utilisations concurrentes et contradictoires. Les écosystèmes menacés et les ressources économiques limitées influent également sur les capacités d'adaptation des communautés des PEID (Gheuens et al., 2019).

Les études prévoient que la pénurie d'eau continuera de s'aggraver dans le futur, et que près de 52 % de la population mondiale vivra dans des conditions de stress hydrique d'ici 2050 (Kölbel, 2018). Les PEID seront particulièrement touchés par cette tendance en raison de leurs vulnérabilités et de leurs ressources en eau douce déjà rares. La majorité des PEID seront soumis à une diminution de l'approvisionnement en eau en conséquence de précipitations réduites et d'une augmentation de la demande provoquée par la croissance démographique et le tourisme. Les Tuvalu, par exemple, ont déjà rencontré des problèmes avec l'approvisionnement en eau en 2011, lorsque l'archipel n'a reçu aucune pluie pendant six mois, et que 1 500 personnes sur 11 000 ont manqué d'accès à l'eau douce (Gheuens et al., 2019).

Les petits États insulaires en développement (PEID) sont généralement considérés comme vulnérables, d'un point de vue environnemental et socioéconomique, aux catastrophes et aux changements climatiques

Régions semi-arides

Les effets des changements climatiques s'ajoutent à des difficultés déjà importantes en matière de gestion de l'eau dans les régions arides et semi-arides (zones arides) (CME, 2009). Les zones arides sont des écosystèmes, tels que les pâturages, les prairies et les terres boisées, caractérisées par une variabilité temporelle et spatiale de précipitations élevée. Elles sont généralement définies comme des régions dans lesquelles l'évapotranspiration potentielle (ETP) dépasse largement la précipitation annuelle (P) ; c'est-à-dire que le ratio P/ETP est de moins de 0,65 (Huang, et al., 2017).

Huang et al. (2017) ont montré que les changements climatiques sont les principaux moteurs de la tendance à long terme de l'indice d'aridité. L'aridité accrue, le réchauffement accéléré et la croissance démographique rapide exacerberont le risque de dégradation des terres et la désertification dans un avenir proche, et jusqu'à 80 % de cette expansion surviendra dans les pays en développement.

Entre 20 et 35 % des zones arides sont déjà soumises à une quelconque forme de dégradation des terres, et il est prévu que ce pourcentage augmente significativement selon les différents scénarios d'émissions (UICN, 2018). La dégradation des terres peut entraver la sécurité de l'eau à travers la diminution de la fiabilité des ressources en eau, de la quantité et de la qualité des débits d'eau (IPBES, 2018).

Les modèles climatiques prévoient une diminution des précipitations dans des régions déjà sèches comme l'Afrique du Nord. En Asie du Sud, la fonte des neiges plus précoce et la perte de couverture glaciaire dans le bassin de l'Hindu-Kush et l'Himalaya influenceront sur l'approvisionnement en eau saisonnière pour une partie importante de la population du sous-continent, et modifieront la fréquence et la gravité des événements extrêmes (CME, 2009).

La Plateforme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) recommande d'agir rapidement pour éviter, réduire et annuler la dégradation des terres en vue d'accroître la sécurité alimentaire et de l'eau. Elle note aussi que, bien que les systèmes de gestion intensifiée des terres aient renforcé le rendement des cultures et du bétail dans de nombreuses régions du monde, s'ils sont mal gérés, ils peuvent entraîner des niveaux élevés de dégradation des terres, notamment l'érosion des sols, la perte de fertilité des sols, le prélèvement d'eaux souterraines et de surface excessif, la salinisation et l'eutrophisation des systèmes aquatiques (IPBES, 2018).

Arrière-pays littoraux

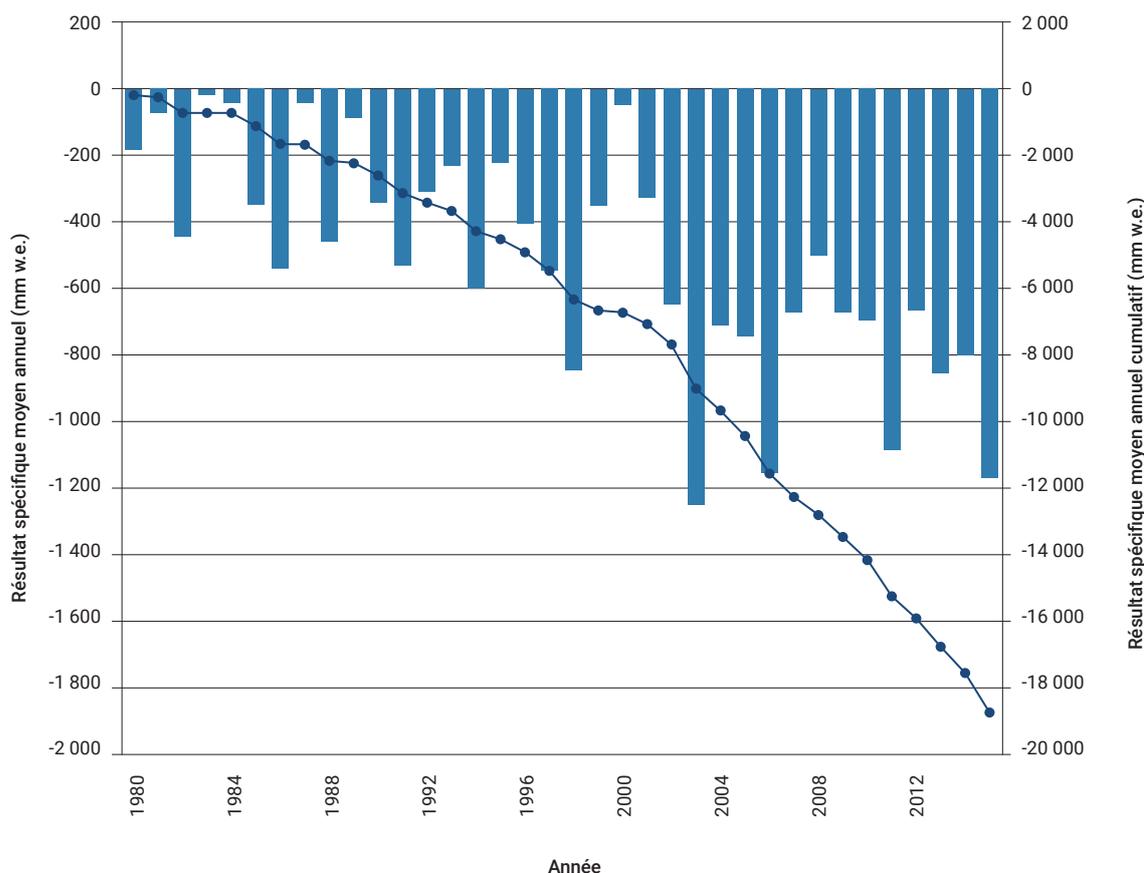
Les zones côtières sont vulnérables à l'élévation du niveau de la mer, aux inondations, aux ondes de tempêtes et au renforcement de l'intensité des vents. Plus de 600 millions de personnes (près de 10 % de la population mondiale) vivent dans des zones côtières s'élevant à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer (McGranahan, et al., 2007), et ces zones sont de plus en plus urbanisées. Au cours de ce siècle siècle, les inondations dues à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête menaceront la viabilité de certaines îles et de certains deltas majeurs comme le Nil et le Mékong (CME, 2009). En plus des impacts directs, elles auront également des répercussions graves sur les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement.

Régions montagneuses

Il est de plus en plus évident que les zones montagneuses de haute altitude se réchauffent plus vite que celles de plus basse altitude (Pepin et al., 2015). Cette accélération du réchauffement, qui se renforce avec l'altitude, rend les régions montagneuses exceptionnellement vulnérables aux changements climatiques. Elle se ressent surtout sur les glaciers et les sommets enneigés, qui diminuent dans presque toutes les régions du monde (Huss et al., 2017 ; figure 18), ce qui influe sur les ressources en eau des populations en aval (Immerzeel et al., 2019). Bien que la contribution de l'eau de fonte à la disponibilité de l'eau en aval soit complexe (Buytaert et al., 2017), l'eau des glaciers et de fonte renforce la sécurité de l'eau dans de nombreuses régions du monde. L'eau de fonte des glaciers est une protection particulièrement importante contre la sécheresse dans des montagnes arides et semi-arides, telles que les bassins de la partie supérieure de l'Indus, la mer d'Aral et Tchou/Issyk-Koul (Pritchard, 2019). Il est prévu que les tendances actuelles des changements relatifs à la cryosphère dans les écosystèmes de haute montagne se poursuivront, et que leurs effets s'intensifieront. Le volume et le caractère saisonnier du ruissellement fluvial dans les bassins enneigés ou alimentés par les glaciers changeront en conséquence du déclin prévu de la couverture glaciaire et des glaciers, ce qui pourra avoir des effets négatifs sur l'agriculture, l'hydroélectricité et la qualité de l'eau (GIEC, 2019a).

En même temps, les effets des changements climatiques dans les régions montagneuses s'étendent au-delà de l'accélération de la fonte des glaciers et de la diminution des sommets enneigés : ils entraîneront des changements dans la végétation, les sols et les processus hydrologiques qui ne concernent pas les glaciers (Tovar et al., 2013). Ces changements influent sur de nombreux services écosystémiques, notamment la disponibilité de l'eau, mais aussi la biodiversité, la fertilité des sols et le stockage du carbone (Buytaert et al., 2011).

Figure 17 Évolution du bilan de masse des 41 glaciers de référence surveillés par le Service mondial de surveillance des glaciers (WGMS)



Note : Le bilan de masse est exprimé en mm d'eau (w.e.). Les lignes horizontales indiquent le bilan de masse annuel moyen, et le tracé indique le bilan massif annuel cumulatif.

Source : Pelto (2016, fig. 2.13, p. S23).

Limites et difficultés

Comme le note le GIEC (2014a ; 2018a), il reste à dépasser plusieurs limites avant que les effets potentiels du climat en évolution sur les ressources en eau soient pleinement compris. Bien qu'il n'existe que peu de désaccords au sujet de l'augmentation des températures, qui ont été simulées par différents MCG dans des scénarios spécifiques, les tendances de précipitation prévues restent plus variables et incertaines (GIEC, 2014a). La limite la plus importante est de loin l'incertitude dans la projection des changements climatiques prévus sur les interactions complexes entre l'atmosphère, les terres, les océans et, par conséquent, les ressources en eau.

Pourtant, comme démontré préalablement, il devient de plus en plus évident que l'évolution du climat dépasse sa variabilité naturelle, et qu'elle a une incidence sur la disponibilité et la distribution temporelle et spatiale des ressources en eau. Une étude menée par Hattermann et al. (2018) suggère que de légères augmentations de la température mondiale peuvent avoir des conséquences significatives sur l'écoulement fluvial, mais cet effet est souvent dissimulé par l'incertitude dans les tendances de précipitations prévues par les MCG. Les augmentations de température intensifient généralement le cycle de l'eau (Kundzewicz et Schellnhuber, 2004), mais le retour de différentes variables climatiques comme les flux d'évapotranspiration n'est pas linéaire.

Le fait que des impacts importants sur les ressources en eau et les événements extrêmes apparaîtront est souvent obscurci par la vaste incertitude liée aux modèles climatiques, surtout dans les zones de transition entre les régions qui subissent des précipitations annuelles aussi bien accrues et que réduites. Les tendances les plus extrêmes (précipitations plus importantes, chaleur, sécheresses prolongées) sont souvent plus claires que les tendances de précipitations annuelles totales. La modélisation hydrologique ajoute davantage d'incertitude. Utiliser des modèles régionaux qui tiennent compte de caractéristiques spécifiques au captage réduit les incertitudes du modèle hydrologique (Tänzler et Kramer, 2019).

Bien que les tendances actuelles et historiques deviennent de plus en plus claires et significatives du point de vue statistique, établir des prévisions exactes pour l'avenir reste difficile. Plusieurs études (par exemple, Görgen et al. (2010) sur le bassin du Rhin et Elshamy et al. (2009) sur le bassin du Nil) se sont servi de la réduction d'échelle des scénarios relatifs aux changements climatiques et de la modélisation hydrologique pour prévoir les effets potentiels des changements climatiques sur les débits fluviaux. Dans certains cas, la réduction prévue de l'écoulement estival s'élève à 25 %, et l'écoulement hivernal pourrait augmenter de 15 %. Les deux études mettent cependant l'accent sur les difficultés et les limites relatives à ces approches de réduction d'échelle. Bien que la réduction d'échelle produise des informations climatiques à des échelles plus précises que les projections initiales, ce processus implique des informations, données et suppositions supplémentaires, et entraîne d'autres incertitudes et limites dans les résultats (USAID, 2014).

Même si les méthodes utilisées pour quantifier la contribution des changements climatiques à des événements météorologiques extrêmes particuliers (inondations et sécheresses) ou à d'autres événements se développent rapidement, il n'existe pas encore de consensus sur la meilleure approche à adopter. L'attribution dépend fondamentalement des modèles climatiques mondiaux qui peuvent capturer de manière exacte les phénomènes météorologiques régionaux – notamment les anomalies de la circulation atmosphérique. Toute déclaration ou attribution devrait donc être accompagnée d'une démonstration scientifiquement solide de la capacité du modèle à simuler les tendances météorologiques mondiales et régionales ainsi que les phénomènes météorologiques qui sont à l'origine d'événements extrêmes (NAS, 2016).

Enfin, mener une évaluation mondiale sur l'état des ressources en eau et les risques associés à l'eau est devenu plus difficile, car il est nécessaire d'améliorer la base de preuves pour appuyer la planification et la prise de décision. Dans son document intitulé « *Assessment of the State of Hydrological Services in Developing Countries* » (évaluation de l'état des services hydrologiques dans les pays en développement), le Groupe de la Banque mondiale (2018a) déclare que seulement 10 % des pays concernés disposaient de systèmes de surveillance liés à l'eau appropriés, tandis que 80 % des pays concernés ne disposaient pas d'informations pertinentes liées à l'eau nécessaires pour répondre aux besoins des utilisateurs. Renforcer les activités de surveillance hydrologique et de collecte des données mondiales reste donc un défi majeur. Outre le renforcement des réseaux de surveillance mondiaux, explorer le potentiel des nouvelles technologies (Tauro et al., 2018) ainsi que de nouvelles approches telles que la surveillance participative et les sciences participatives (Buytaert et al., 2014) pourrait s'avérer nécessaire.

1

Changements climatiques, eau et développement durable



Héron cendré dans les rizières du parc naturel de l'Albufera (Valence, Espagne).

WWAP | Jos Timmerman, Richard Connor, Stefan Uhlenbrook et Engin Koncagül

UNESCO-PHI | Wouter Buytaert, Anil Mishra, Sarantuyaa Zandaryaa, Nicole Webley et Abou Amani

OMM | Bruce Stewart

Avec les contributions : Rio Hada (HCDC) et Marianne Kjellén (PNUD)

Ce chapitre d'introduction présente les objectifs et la portée du rapport, ainsi que les principales notions relatives à l'eau et au climat ; il met l'accent sur la nature intersectorielle des défis et des réponses potentielles, et présente les populations les plus susceptibles d'être touchées.

1.1 Objectifs et portée

Les données scientifiques sont claires : le climat évolue et continuera d'évoluer (GIEC, 2018a), ce qui aura un impact sur les sociétés et l'environnement. Cette évolution survient directement à travers de changements dans les systèmes hydrologiques qui influent sur la disponibilité de l'eau, sa qualité et les événements extrêmes, et indirectement par le biais de changements dans la demande en eau, ce qui peut à son tour avoir des conséquences sur la production d'énergie, la sécurité alimentaire et l'économie, entre autres choses. Les changements climatiques influenceront sur la transmission de maladies liées à l'eau l'eau et sur la réalisation de plusieurs autres Objectifs de développement durable (ODD) (Banque mondiale, 2016a). Ces difficultés entraîneront à leur tour d'autres risques pour la sécurité et limiteront les possibilités de développement (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2018).

La croissance démographique, le développement économique, le changement dans les tendances de consommation, la production agricole accrue et l'expansion des villes entraîneront une augmentation substantielle de la demande en eau (Wada et Bierkens, 2014), alors que la disponibilité de l'eau se fait plus erratique et incertaine (UNU-INWEH, 2013 ; FAO, 2017a ; GIEC, 2018a). Les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, notamment les installations de traitement des eaux et des eaux usées, peuvent être extrêmement vulnérables à de potentiels changements de paramètres hydroclimatiques. Les risques liés au climat pour la santé, les moyens de subsistance, la sécurité alimentaire et énergétique, la sécurité humaine et la croissance économique, dont il est prévu qu'ils augmentent avec un réchauffement de la planète de 1,5 C, se multiplieront davantage encore à partir de 2 °C : les ODD seront donc plus facilement atteints si le réchauffement se limite à 1,5 °C (GIEC, 2018a). Les changements climatiques menacent directement et indirectement les droits de l'homme (CDH, 2018). La multiplication des cas d'événements extrêmes comme les inondations et les tempêtes n'accroît pas seulement le risque immédiat d'inondations, de blessures et d'endommagement des établissements humains, mais également les conséquences indirectes telles que la transmission de maladies liées à l'eau l'eau (Watts et al., 2018).

Les domaines de l'énergie et de l'agriculture effectuent de plus en plus la transition vers des systèmes de production à faibles émissions, qui ont en général une incidence positive sur la demande en eau douce et sur la pollution des eaux. La qualité des ressources en eau pourrait toutefois se détériorer en raison de plusieurs facteurs interagissant sur l'eau : température élevée ; charges accrues en sédiments, nutriments et polluants après des précipitations sévères ; concentration accrue de polluants lors des sécheresses ; perturbation des installations de traitement lors des inondations ; et détérioration des eaux souterraines en raison de l'intrusion de sel dans les zones côtières en conséquence de l'élévation du niveau de la mer (GIEC, 2014a ; PNUE, 2016). Les entreprises rencontrent de plus en plus de perturbations dans leurs opérations en raison de problèmes d'approvisionnement en eau et de qualité de l'eau, ainsi que d'inondations et de sécheresses (Newborne et Dalton, 2016). Par ailleurs, la dégradation des écosystèmes

n'entraînera pas seulement la perte de biodiversité : elle influera également sur la prestation de services écosystémiques liés à l'eau, comme l'épuration des eaux, le captage et le stockage de carbone et les protections naturelles contre les inondations, ainsi que l'approvisionnement en eau pour l'agriculture, la pêche et la baignade. Ces développements touchent en particulier les personnes qui dépendent des ressources naturelles pour leur vie et leurs moyens de subsistance (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2018). Répondre à la demande croissante en eau douce pour répondre aux besoins humains de base, tout en protégeant dans le même temps les écosystèmes, exigera des efforts concertés entre toutes les parties prenantes pour trouver un équilibre durable entre les besoins sociaux, économiques et écologiques (Timmerman et al., 2017).

Les preuves attestant des changements météorologiques et hydrologiques sont de plus en plus nombreuses (Blöschl et al., 2017 ; Su et al., 2018), et les projections de multiplication substantielle de ces changements dans un avenir proche rendent incontestable l'urgente nécessité d'adapter une meilleure gestion de l'eau. Sans mesures d'adaptation concrètes, la pénurie d'eau, tant en ce qui concerne les ressources en eau de surface qu'en eaux souterraines, s'étendra à certaines régions dans lesquelles la pénurie n'existe pas encore, et s'aggravera dans de nombreuses régions où les ressources en eau sont déjà rares (Gosling et Arnell, 2016).

Au-delà de l'adoption urgente des mesures d'adaptation nécessaires pour renforcer la résilience du système de l'eau, une gestion de l'eau améliorée ouvre la voie à la possibilité de s'adapter aux changements climatiques et d'atténuer ses effets. Les mesures d'atténuation, par exemple la réutilisation de l'eau, l'agriculture de conservation et les énergies renouvelables (hydroélectricité, biocombustibles, énergie éolienne, solaire et géothermique), peuvent directement avoir une incidence sur les ressources en eau (par exemple en augmentant ou réduisant la demande en eau), et il est important de reconnaître cette relation mutuelle lors de l'élaboration et de l'évaluation d'options d'atténuation (Wallis et al., 2014).

L'adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires permettant de gérer et réduire les risques associés aux changements climatiques. Une réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre (GES) au cours des prochaines décennies pourrait réduire les risques climatiques au cours du XXI^e siècle et après, accroître les chances d'adaptation effective, réduire les coûts et les difficultés d'atténuation dans le plus long terme, et contribuer à des mesures résilientes aux changements climatiques en vue du développement durable (GIEC, 2018a).

L'adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires permettant de gérer et réduire les risques associés aux changements climatiques

Des options d'adaptation existent dans tous les secteurs liés à l'eau ; elles devraient faire l'objet de recherches et être exploitées dans la mesure du possible. Des options d'atténuation sont également disponibles dans de nombreuses interventions pour la gestion de l'eau. Bien que l'adaptation et l'atténuation soient des activités, la résilience constitue une caractéristique d'un système. Les mesures d'adaptation, tout comme certaines mesures d'atténuation (par exemple le captage et le stockage du carbone par le biais de la restauration des forêts), peuvent renforcer ou affaiblir la résilience (encadré 1.1). Le présent rapport vise à mieux faire comprendre les procédés les plus efficaces, les lieux les plus adéquats, et les circonstances les plus favorables, tout en prenant en compte les avantages connexes, les synergies et les compromis (potentiels). L'adaptation, comme le présente ce rapport, est une combinaison d'options naturelles, construites et technologiques, ainsi que de mesures sociales et institutionnelles, qui doivent souligner sur la flexibilité, les connaissances et l'apprentissage (GIEC, 2014a ; 2014b ; WWAP, 2015).

Il est à noter que les effets de l'atténuation surviennent à des moments différents et sur des échelles spatiales différentes des effets de l'adaptation. En conséquence de l'inertie du système climatique, les mesures d'atténuation ne feront effet qu'après plusieurs dizaines d'années et sur des régions vastes. Les options d'adaptation, elles, peuvent avoir des effets presque immédiats et réduire la vulnérabilité au niveau local ou régional, et devraient donc être prises en compte pour les différentes échelles temporelles qu'elles ciblent. Des mesures d'adaptation peuvent être prises pour effectuer des changements à court terme (jusqu'à 10 ans), à moyen terme (10 à 30 ans) ou à long terme (30 ans et plus).

Encadré 1.1 Définitions

L'adaptation¹ est définie comme le processus d'ajustement aux systèmes naturels ou humains, ou qui ont lieu au sein de ceux-ci, en réponse à des stimuli climatiques ou à leurs effets, réels ou prévus, et qui atténuent les dangers ou exploitent des possibilités avantageuses (GIEC, 2014b ; CCNUCC, n.d.a).

L'atténuation est définie comme une intervention humaine visant à réduire les sources ou renforcer les puits de gaz à effet de serre (GES) et d'autres substances. Elle peut directement ou indirectement contribuer à limiter les changements climatiques, notamment par le biais de la réduction d'émissions de matières particulaires pouvant directement altérer le bilan radiatif (par exemple carbone noir) ou par le biais de mesures qui contrôlent les émissions de monoxyde de carbone, d'oxydes d'azote, de composés organiques volatils et d'autres polluants pouvant altérer la concentration de l'ozone troposphérique, qui a des effets indirects sur le climat (GIEC, 2014 ; CCNUCC, n.d.a).

La **résilience** est définie comme la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux exposés à des aléas à résister aux effets d'un aléa, les absorber, les accueillir et les transformer, de même qu'à s'y adapter et s'en relever, de manière rapide et efficace, notamment grâce à la préservation et la restauration de ses structures et fonctions de base, tout en maintenant des capacités d'adaptation, d'apprentissage et de transformation (GIEC, 2014b ; UNDRR, n.d).

¹ Définition alternative : L'adaptation aux changements climatiques désigne les actions prises pour gérer les effets des changements climatiques en réduisant la vulnérabilité et l'exposition aux dangers et exploiter tout avantage potentiel (GIEC, 2018b, p. 31).

Les options d'adaptation liées à l'eau existent dans tous les secteurs, mais le contexte de leur mise en œuvre et la probabilité qu'elles réduisent les risques liés au climat varient selon les secteurs et les régions. Certaines réponses d'adaptation ont des avantages connexes, synergies et compromis importants. Les changements climatiques en augmentation renforceront les difficultés pour de nombreuses options d'adaptation (GIEC, 2014c).

Des options d'atténuation sont disponibles dans tous les secteurs majeurs liés à l'eau. L'atténuation peut être plus financièrement rationnelle si une approche intégrée est adoptée, combinant des mesures visant à réduire l'utilisation d'énergie et l'intensité des émissions de (GES) des secteurs d'utilisation finale de l'énergie, à décarboniser l'approvisionnement énergétique, à réduire les émissions nettes et à renforcer les puits de carbone dans les secteurs exploitant les ressources terrestres (GIEC, 2014c). Tout comme l'adaptation, les options d'atténuation liées à l'eau offrent aussi plusieurs avantages connexes économiques, sociaux et environnementaux (voir chapitre 9).

Le présent rapport aborde les liens cruciaux entre l'eau et les changements climatiques dans le cadre du programme plus vaste mené en faveur du développement durable. Il se concentre sur les défis, les possibilités et les réponses potentielles aux changements climatiques (en ce qui concerne l'adaptation, l'atténuation et la résilience renforcée) pouvant être abordés en renforçant la gestion des ressources en eau, en atténuant les risques liés à l'eau, et en améliorant l'accès aux services d'approvisionnement en eau et d'assainissement pour tous et de manière durable. Au vu de nombreux aspects des effets des changements climatiques encore incertains (et tenant compte du fait qu'il puisse exister des avantages imprévus), les solutions intégrées devraient être fiables (couvrir un vaste éventail de futurs potentiels) et souples (capables de répondre à des futurs imprévus ou alternatifs) (SIWI, n.d). En examinant ces questions, le présent rapport aborde la sécurité et l'insécurité alimentaire² dans le cadre des changements climatiques.

² « La sécurité de l'eau est la capacité d'une population à garantir un accès durable à des quantités suffisantes d'eau de qualité acceptable pour assurer les moyens de subsistance, le bien-être humain et le développement socioéconomique, à assurer la protection contre la pollution d'origine hydrique et les catastrophes liées à l'eau, et à préserver les écosystèmes dans un climat de paix et de stabilité politique » (ONU-Eau, 2013).

Le rapport ne se veut pas un examen détaillé des effets potentiels des changements climatiques sur l'eau mais il s'efforce à apporter une contribution factuelle axée sur l'eau et sur la base de connaissances des changements climatiques. Il complète tant les évaluations scientifiques que les cadres politiques internationaux en vue : 1) d'aider la communauté de l'eau à relever les défis des changements climatiques et ; et 2) d'éclairer la communauté de spécialistes des changements climatiques sur les possibilités offertes par la gestion de l'eau en faveur de l'adaptation et l'atténuation.

Ce rapport présente les défis majeurs dans la gestion de l'eau, qui proviennent des changements climatiques, et sert de guide pour prendre des actions concrètes et relever ces défis ; il est étayé par des exemples de réponses et leurs effets partout dans le monde. Il aborde les interactions entre l'eau, les personnes, l'environnement et l'économie dans un climat en évolution. Il présente également le fait que les changements climatiques ne peuvent pas être une excuse pour couvrir une mauvaise gestion de l'eau, et la manière dont les changements climatiques peuvent être un catalyseur positif pour la gestion et la gouvernance de l'eau.

1.2 Un défi intersectoriel et la nécessité d'évaluations intégrées

Les sociétés et les écosystèmes dépendent fortement de l'eau. Par conséquent, la gestion de l'eau est cruciale pour le développement durable sous tous ses aspects. La réduction prévue de la disponibilité de l'eau dans de nombreuses régions en conséquence des changements climatiques soumet la réalisation du développement durable à une forte pression. L'agriculture et l'énergie sont les principales sources d'utilisation de l'eau au monde et doivent donc être au cœur des solutions durables. La demande en eau dans le secteur de l'industrie est substantielle et augmente rapidement. Fournir de l'eau potable exige des sources disponibles et accessibles d'eau de qualité. Le traitement adapté des eaux usées est extrêmement limité ou absent dans de nombreux pays (WWAP, 2017), ce qui rend les volumes importants d'eau douce impropres à la consommation et à plusieurs autres utilisations. Enfin, les écosystèmes, qu'il s'agisse de l'eau douce, côtières, marines ou terrestres, ont besoin d'eau pour maintenir la prestation de services indispensables au bien-être humain.

La réduction prévue de la disponibilité de l'eau dans de nombreuses régions en conséquence des changements climatiques soumet la réalisation du développement durable à une forte pression

Les risques climatiques liés à l'eau accompagnent les systèmes urbains, environnementaux, d'alimentation, d'énergie et de transport, et ont des facteurs mutuels et contradictoires. Une approche intersectorielle est ainsi nécessaire, non seulement pour lutter contre les effets potentiels des changements climatiques au sein d'un secteur, mais également contre les interactions entre les secteurs. La production de biocarburants en tant que mesure d'atténuation, par exemple, requiert l'utilisation d'eau et de terres arables qui ne seront par la suite plus disponibles pour la production alimentaire, ce qui entraînera des compromis entre l'utilisation d'eau, la sécurité énergétique et la sécurité alimentaire (voir encadré 9.1). Les barrages, souvent construits pour l'hydroélectricité en tant que mesure d'atténuation visant à réduire les émissions de (GES) en remplaçant la production d'énergie alimentée par des combustibles fossiles, peuvent également contribuer à réguler les flux, contrôler les inondations et rendre disponible l'eau pour l'irrigation. Les réservoirs peuvent cependant « consommer » beaucoup d'eau par l'évapotranspiration et, dans certains cas, émettre du GES. Par ailleurs, des centrales hydroélectriques mal conçues ou mal gérées peuvent avoir des impacts écologiques négatifs sur les écosystèmes fluviaux et les systèmes de pêche existants, entraîner des perturbations sociales et des violations des droits de l'homme, entre autres (Bates et al., 2008 ; Banque mondiale, 2016a). Le développement durable exige ainsi l'examen de divers secteurs et aspects, notamment l'agriculture, l'énergie, le transport, l'industrie, les villes, la santé humaine, les écosystèmes et l'environnement, ainsi que leurs interdépendances à travers l'eau.

Des évaluations intégrées prenant en compte les liens entre les divers secteurs sont nécessaires pour déterminer les impacts intersectoriels et établir une réponse coordonnée, en équilibrant les différents objectifs sectoriels liés à l'eau et les besoins des écosystèmes (Roidt et Avellán, 2019). Les dirigeants

mondiaux font face à des défis communs : améliorer la cohérence entre les politiques sectorielles, harmoniser la croissance économique et l'action sociale, environnementale et climatique, et utiliser les ressources de manière plus efficace et effective. Il est nécessaire de trouver un terrain d'entente pour aborder efficacement les compromis entre le développement et la protection environnementale, mais également entre les intérêts divergents des divers secteurs économiques. Prendre en compte les interactions peut aussi apporter des avantages mutuels entre, par exemple, l'énergie, l'agriculture, les écosystèmes et l'efficacité de l'eau (FAO, 2014 ; IRENA, 2015). Cela peut aussi contribuer à établir une cohérence entre les politiques sectorielles et éviter de potentiels conflits entre les secteurs. Puisque les impacts intersectoriels dépassent les frontières, les aspects transfrontières devraient aussi être pris en considération (CEE, 2018a).

Il est de plus en plus évident que les solutions fondées sur la nature, qui sont inspirées de la nature et maintenues par elle, et qui utilisent ou imitent des processus naturels, peuvent contribuer à une meilleure gestion de l'eau tout en offrant des services écosystémiques et de nombreux avantages connexes secondaires, y compris l'atténuation des changements climatiques, l'adaptation et la résilience à ses effets (GIEC, 2014a ; PNUE, 2014 ; WWAP/ONU-Eau, 2018). Les zones humides saines peuvent par exemple stocker le carbone tout en réduisant les risques d'inondation, améliorer la qualité de l'eau, recharger les nappes phréatiques, soutenir les poissons et la vie sauvage, et offrir des avantages pour la baignade et le tourisme (WWAP/ONU-Eau, 2018). En milieu urbain, les approches des infrastructures vertes (ou développement à faibles émissions) peuvent être adoptées pour gérer les changements climatiques prévus. Ces approches disposent aussi de nombreux avantages connexes tels que l'atténuation des changements climatiques et bien d'autres avantages écologiques et sociaux. Ainsi, les solutions fondées sur la nature peuvent contribuer à gérer les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et contribuer à la santé et à la qualité de vie humaine en apportant un appui à la production alimentaire durable, en améliorant les établissements humains, en offrant un accès aux services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, et en réduisant les risques de catastrophes liées à l'eau (PNUE, 2014 ; WWAP/ONU-Eau, 2018). L'application de solutions fondées sur la nature exige implicitement d'adopter des approches intégrées.

Les mesures d'adaptations sont généralement conçues pour gérer les impacts des changements climatiques sans forcément tenir compte de leurs effets sur les émissions des GES, tandis que les mesures d'atténuation sont rarement prises en compte par rapport à leur potentiel d'adaptation, ni par rapport à leur impact sur les ressources en eau. Il est cependant possible d'intégrer l'atténuation à la conception et à la sélection de mesures d'adaptation en matière de gestion de l'eau. Plusieurs solutions fondées sur la nature liées à l'eau ont, par exemple, le potentiel d'améliorer le captage et le stockage du carbone. La restauration des zones humides en tant qu'option d'adaptation peut avoir pour conséquences une meilleure qualité de l'eau, la diminution des inondations et l'atténuation grâce à l'absorption de CO₂ et au captage de carbone. Dans de nombreux cas, elle peut aussi permettre des économies par rapport aux solutions en infrastructures construites. Toutefois, le stockage net de carbone, notamment les émissions potentielles de CH₄ et NO_x, doit aussi être pris en compte. Le boisement et le reboisement peuvent également avoir des effets hydrologiques et d'atténuation positifs (Bates et al., 2008 ; Tubiello et Van der Velde, 2011 ; Wallis et al., 2014), cependant, puisque des effets néfastes provenant des exigences en eau de la végétation ont également été démontrés (par exemple, Schwärzel et al., 2018), une planification réfléchie est nécessaire pour obtenir un effet bénéfique de l'infiltration de l'eau dans les sols et la percolation profonde dans différentes circonstances (SIWI, 2018b). De plus, les mesures d'efficacité de l'eau peuvent contribuer à l'atténuation en réduisant les besoins en énergie du traitement, du transport et de l'épuration de l'eau et des eaux usées, ainsi qu'en traitant et en éliminant de manière plus efficace les boues et les autres formes de déchets. À l'inverse, les mesures d'atténuation peuvent avoir des impacts négatifs sur l'eau. Par exemple, l'électrification des véhicules personnels ou privés est susceptible de laisser une empreinte eau et GES si la source d'électricité n'est pas renouvelable. Cela souligne la nécessité d'une élaboration et d'une planification globales et coordonnées des politiques.

1.3 Les plus vulnérables

Les régions développées sont responsables de la majorité des émissions anthropiques de GES qui entraînent les changements climatiques. Au début du XIXe siècle, dès le début de l'industrialisation rapide, les GES ont commencé à s'accumuler dans l'atmosphère et n'ont cessé d'augmenter depuis (Mgbemene et al., 2016 ; Dong et al., 2019 ; GIEC, 2018a). Toutefois, de nombreux effets des changements climatiques se manifesteront dans les zones tropicales où se trouve la majorité des régions en développement. Les régions en développement disposent d'une plus faible capacité à répondre aux effets des changements climatiques, et les groupes et sociétés les plus pauvres sont aussi les plus vulnérables aux chocs, mineurs ou majeurs. De nombreux pays en développement ne disposent que de peu de ressources financières pour les efforts d'adaptation et d'atténuation, et la capacité à agir de certains peut aussi être entravée par une mauvaise gouvernance (Das Gupta, 2013). De nombreux pays en développement manquent également de connaissances de base sur la gestion des catastrophes liées à l'eau, de même sur la disponibilité, la demande et l'utilisation de l'eau.

De nombreux effets des changements climatiques se manifesteront dans les zones tropicales où se trouve la majorité des régions en développement

Des données scientifiques ont révélé de nombreux effets perceptibles des changements climatiques sur les systèmes naturels, gérés et humains partout dans le monde (GIEC, 2014a). Il est certain que le réchauffement dû aux émissions anthropiques ayant débuté à partir de la période préindustrielle persistera pendant des siècles, voire des milliers d'années, et continuera de provoquer d'autres changements à long terme dans le système climatique (GIEC, 2018a). Bien que de nombreux pays en développement mettent l'accent sur la responsabilité historique des régions développées en ce qui concerne les émissions de GES, de nombreux pays développés hésitent encore à assumer le poids total des responsabilités climatiques. C'est de là que le concept de justice climatique est né, soulignant que les changements climatiques sont une question éthique, politique, environnementale et physique. À cet égard, l'Accord de Paris fait aussi référence à l'équité, à la justice climatique et aux droits de l'homme.

Les effets de multiples autres moteurs agissant sur les systèmes naturels, mais surtout sur les systèmes humains et gérés (par exemple, changement dans l'utilisation des terres, croissance démographique, avancées technologiques) ont été collectivement plus importants que les effets des émissions de GES, ou ont rendu difficile la détermination de l'importance de ces émissions comme facteur (Stone et al., 2013). Dans certains cas, des pratiques de gestion de l'eau fondamentalement mauvaises contribuent aux problèmes liés à l'eau. Des fonds tels que le Fonds d'adaptation établi en vertu du Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ont été mis à disposition aux pays en développement pour qu'ils puissent améliorer leur gestion de l'eau et mieux s'adapter aux changements climatiques. Pour que ces fonds soient disponibles, il est nécessaire de montrer le degré auquel les problèmes existants peuvent être attribués aux changements climatiques. Les effets cumulatifs potentiels de multiples facteurs d'émissions non GES (« facteurs confondants ») peuvent entraîner des difficultés d'attribution qui, par conséquent, laissent aux pays en développement la tâche ardue de présenter la « charge de la preuve » nécessaire pour recevoir un financement en appui aux approches appropriées d'adaptation et de gestion des risques (Huggel et al., 2016).

Les impacts des changements climatiques sur la disponibilité des ressources en eau sur le plan temporel et spatial auront une incidence sur les pauvres de façon disproportionnée, par le biais des impacts sur l'agriculture, la pêche, la santé et les catastrophes naturelles. Près de 78 % des populations pauvres au monde, soit près de 800 millions de personnes, souffrent de faim chronique, tandis que 2 milliards de personnes souffrent de carences en oligoéléments (FAO, 2017a). Elles vivent surtout en milieu rural et dépendent principalement de l'agriculture pluviale, du bétail et de l'aquaculture pour leur subsistance et celle de leur famille ; ces domaines dépendent fortement du climat et de l'eau, et sont donc vulnérables aux irrégularités hydrométéorologiques. En raison de la variabilité accrue des précipitations dans de nombreuses régions, elles seront de plus en plus vulnérables et leurs possibilités de s'extraire de la pauvreté seront susceptibles de diminuer. Par ailleurs, les chocs subis par la production agricole peuvent causer des augmentations significatives des prix de la nourriture et entraîner une insécurité alimentaire pour les habitants des zones rurales et urbaines. Au vu du fait que les ménages plus pauvres dépendent une part substantiellement plus importante de leurs revenus dans l'alimentation, ils seront les plus touchés (Banque mondiale, 2016a).

Ces impacts sont particulièrement ressentis par les femmes et les filles pauvres, qui subissent souvent des inégalités dans l'accès aux services d'eau, d'assainissement et d'hygiène (WASH) et dans les ressources en eau dont elles en dépendent souvent pour leur subsistance. De la même manière, les populations autochtones sont particulièrement sensibles aux effets des changements climatiques, surtout si elles ne peuvent pas appliquer les connaissances et stratégies traditionnelles d'adaptation aux changements environnementaux et d'atténuation de leurs effets. Les enfants sont disproportionnellement touchés mais, de la même manière que les jeunes, peuvent aussi participer directement aux efforts visant à s'informer au sujet des changements climatiques et des événements extrêmes, les prévenir, s'y préparer, les gérer et s'y adapter (Haynes et Tanner, 2015). L'Accord de Paris se réfère à ce sujet à l'équité intergénérationnelle (CCNUCC, 2015).

La fréquence et l'intensité des inondations, des sécheresses et des ondes de tempêtes augmenteront avec les changements climatiques. Les ménages pauvres ont tendance à être davantage exposés aux effets des sécheresses et des inondations urbaines que les ménages plus riches (voir Chapitre 8). Cela vient principalement du fait que les personnes pauvres en milieu rural dépendent disproportionnellement des revenus agricoles, qui sont les plus vulnérables aux sécheresses. Les familles plus pauvres provenant de zones urbaines sont plus susceptibles de résider dans des zones vulnérables aux inondations : les terres sont rares et les zones plus vulnérables ont moins de valeur, ce qui les rend plus abordables (Winsemius et al., 2015 ; Banque mondiale, 2016a).

La pénurie d'eau accrue et la plus importante variabilité de la disponibilité peut également entraîner davantage d'exposition aux eaux contaminées, à l'insuffisance de l'eau disponible pour l'assainissement et l'hygiène, et à l'augmentation des maladies en conséquence (voir Chapitre 5). Ces impacts toucheront disproportionnellement les ménages pauvres qui peuvent déjà manquer d'un assainissement adéquat et de provisions en eau sûres, gérées en toute sécurité. Les changements climatiques multiplieront les cas de diarrhée et d'autres maladies liées à l'eau l'eau, ce qui engendrera des coûts en soins de santé et des absences au travail ou à l'école. Ces pertes sont souvent citées comme raisons pour lesquelles les ménages basculent dans la pauvreté (Banque mondiale, 2016a).

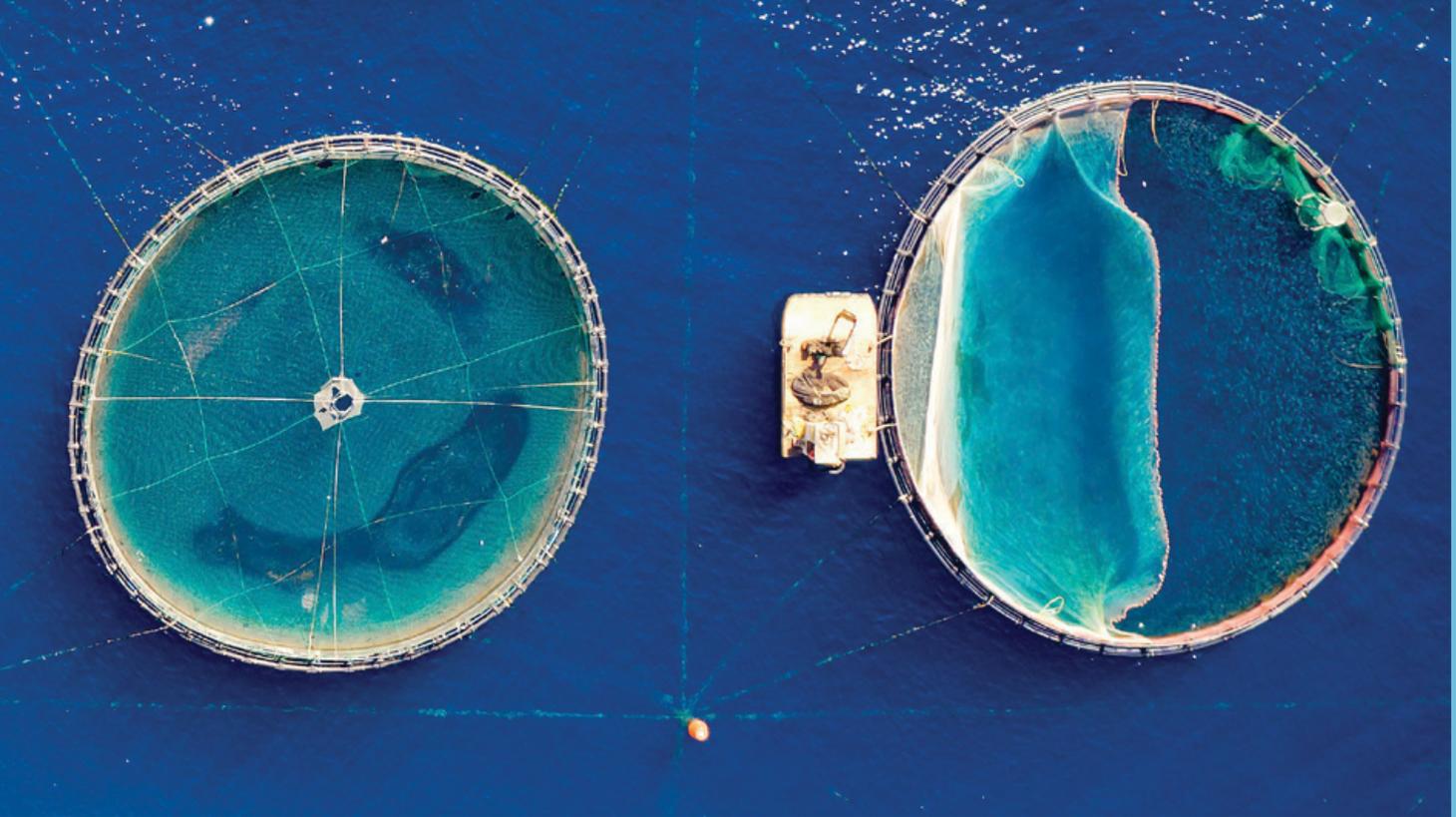
En plus d'être plus exposés aux événements extrêmes, les ménages pauvres ont tendance à perdre une plus grande part de leurs actifs en raison de tempêtes ou d'inondations, car leurs domiciles peu solides sont susceptibles de subir des dommages relativement plus importants. Les actifs des personnes pauvres ont tendance à être le plus souvent, si ce n'est toujours en termes de biens matériels, ce qui les rend plus vulnérables aux événements extrêmes. Ces personnes disposent également d'un accès limité à l'aide au recouvrement rapide, notamment à l'assurance, à la protection sociale et au crédit (Winsemius et al., 2015 ; Banque mondiale, 2016a).

Bien que les changements climatiques touchent tous les groupes de la société, la magnitude des impacts sur les femmes et les filles est bien plus importante, et renforce les inégalités de genre et menace leur santé, leur bien-être, leurs moyens de subsistance et leur éducation. Lors d'une sécheresse, les femmes et les filles ont tendance à passer plus de temps à recueillir de l'eau à partir de sources plus éloignées, ce qui pose un risque pour l'éducation des filles en raison de leurs absences à l'école. Les femmes et les filles sont disproportionnellement exposées aux risques de maladies liées à l'eau l'eau lors des inondations en raison de leur manque d'accès à une eau gérée en toute sécurité, à la perturbation des services de l'eau et à la contamination accrue des ressources en eau. Les changements climatiques compromettront aussi les moyens de subsistance des exploitantes agricoles des pays en développement, qui dépendent fortement de l'accès aux ressources en eau pour la production alimentaire et pour les cultures. Les femmes représentent en moyenne 43 % de la main-d'œuvre de l'agriculture dans les pays en développement (Oxfam International, n.d.), par rapport à près de 35 % en Europe (Eurostat, 2017) et de 25 % aux États-Unis d'Amérique (USA) (USDA, 2019). Cette proportion peut être bien plus importante, comme au Kenya, où près de 86 % des exploitants agricoles étaient en 2002 des femmes (FAO, 2002). L'émigration des hommes peut faire jouer un rôle plus important aux femmes dans l'agriculture : elles peuvent assumer des charges de travail plus importantes (Miletto et al., 2017 ; FAO, 2018a). Pour ces raisons et d'autres encore, une approche tenant compte des dimensions de genre des effets différenciés des changements climatiques sur les femmes et les hommes, associée à la participation des femmes à l'élaboration de politiques liées au climat, est nécessaire. Des données ventilées sur les changements climatiques, notamment par genre, sont cruciales pour élaborer des politiques appropriées, transformatives et tenant compte du genre (Miletto et al., 2019).



La diminution des provisions en eau peut entraîner de plus faibles perspectives économiques, surtout en ce qui concerne la production agricole et industrielle. Les changements climatiques influent de manière disproportionnée sur les régions se trouvant en insécurité alimentaire, compromettent les cultures et le bétail, les stocks halieutiques et la pêche, surtout en raison du fait que les niveaux de protection et la qualité de l'eau globale sont plus faibles dans les pays pauvres (Winsemius et al., 2015 ; FAO, 2017a). Certaines régions pourraient subir une croissance économique négative durable en conséquence des pertes liées à l'eau dans les domaines de l'agriculture, de la santé, des revenus et de la propriété. Des politiques de gestion de l'eau mal conçues peuvent exacerber les effets néfastes des changements climatiques, tandis que des politiques bien conçues peuvent véritablement contribuer à les neutraliser. Ces politiques doivent ainsi se fonder sur des connaissances vastes, fiables et sur des données scientifiques. Certaines régions voient leur croissance économique s'accélérer en raison d'une meilleure gestion des ressources en eau. « *Lorsque les gouvernements répondent aux pénuries d'eau en stimulant l'efficacité et en allouant de l'eau aux fins d'utilisations de plus grande valeur, les pertes [PIB] peuvent radicalement diminuer, voire disparaître* » (Banque mondiale, 2016a, p. 14). Il est toutefois essentiel que l'allocation d'eau à ces fins de plus grande valeur prenne également en compte tout effet néfaste sur les ressources humaines, sur les droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement, et sur l'environnement.

Dans les régions où la prospérité économique est touchée par les précipitations, les épisodes de sécheresses et d'inondations ont entraîné des vagues de migration et des pics de violence : 18,8 millions de nouveaux déplacements internes associés à des catastrophes ont été enregistrés dans 135 pays et territoires en 2017 (IDMC, 2018). En outre, la pénurie d'eau est susceptible de limiter la création d'emplois décents, puisque près de trois emplois sur quatre au monde dépendent de l'eau (WWAP, 2016). Les conflits réduisent davantage la disponibilité de l'eau, et font basculer de nombreuses personnes touchées dans la pauvreté et la faim (FAO, 2017a). Sur une planète mondialisée et connectée, il est impossible d'isoler ces problèmes et de leur attribuer une cause précise. Plusieurs facteurs économiques, sociaux et politiques, en particulier dans les régions touchées par de grandes inégalités, provoquent le déplacement des personnes de zones pauvres à des régions plus prospères, ce qui entraîne des tensions sociales accrues (Foresight, 2011). L'élimination de la pauvreté et la prospérité économique sont donc étroitement liées, l'une dépendant fortement de l'autre. Dans toutes les nations, une augmentation du revenu moyen de 1 % a été associée à une réduction de 2 % à 3 % du nombre de personnes vivant sous le seuil de pauvreté (Banque mondiale, 2016a). De cette manière, la gestion de l'eau est étroitement liée au statut socioéconomique des pays et à la vulnérabilité des individus.



Certaines régions sont plus vulnérables aux changements climatiques en raison de leurs conditions géographiques. Les petits États insulaires en développement (PEID) sont par exemple vulnérables à des changements potentiels dans les tendances de précipitations. Lorsque l'eau de pluie constitue la principale source d'eau, une diminution des précipitations peut faire diminuer le volume d'eau douce disponible. Cette vulnérabilité peut être aggravée par l'élévation du niveau de la mer, qui peut faire diminuer ou contaminer les ressources en eau de surface et souterraines en raison de l'intrusion de sel. Les régions côtières en général, notamment dans les PEID, subissent l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes plus extrêmes en conséquence des changements climatiques. La neige pourrait presque totalement disparaître des zones montagneuses en raison de l'augmentation des températures. Cette disparition pourrait entraîner la réapparition de pierres et de sols instables dans les régions précédemment couvertes par le pergélisol et exacerber le risque de chute de pierres, d'écoulement de débris et de coulées de boues si elle est associée à des précipitations plus intenses. L'engorgement des lacs glaciaires et la menace de vidange des lacs sont des risques concrets. Tous ces éléments pourraient entraîner des pertes humaines et la destruction de biens immobiliers. Les zones arides sont déjà vulnérables en raison de précipitations limitées, et nombre d'entre elles recevront moins de précipitations ou subiront des précipitations plus variables en conséquence des changements climatiques, ce qui soumettra la production agricole à un stress supplémentaire et renforcera les risques de désertification.

Les changements climatiques et les défis liés à l'eau ne sont pas seulement complexes et interdépendants : ils sont aussi intergénérationnels. Les décisions prises aujourd'hui seront ressenties par les futures générations. Prendre en compte la prochaine génération est donc impératif. Le nombre accru de programmes universitaires et de spécialisations dans les questions relatives à l'eau et au climat au cours des dernières décennies ont donné naissance à une génération de plus en plus équipée pour gérer les questions relatives aux changements climatiques.

Ces éléments présentent les interactions fascinantes et complexes entre l'humanité et l'environnement, surtout en ce qui concerne l'eau et les changements climatiques. Ils soulignent aussi la nécessité d'adopter des approches d'adaptation et d'atténuation qui permettront aux populations humaines de vivre en harmonie avec l'environnement en évolution né de ces changements, tout en évoluant et en se développant d'une manière durable et équitable. Une bonne gouvernance de l'eau et une gestion améliorée des ressources en eau sont essentielles : elles constituent les clés du succès. Les chapitres suivants examinent ces questions plus en détail et abordent les manières de relever les défis mondiaux, régionaux et locaux.

2

Cadres politiques internationaux



Vue d'ensemble de la conférence de la 71^e session de l'Assemblée générale des Nations Unies à New York.

Le présent chapitre présente les principaux cadres politiques internationaux, et met en lumière les lacunes existantes et les possibilités d'interactions en matière de gestion de l'eau résiliente, qui pourraient réduire ou renforcer les progrès dans l'action mondiale pour le climat et le développement durable.

2.1 Introduction

Au cours des 40 dernières années, la communauté internationale, en grande partie par le biais de processus d'élaboration de politiques des Nations Unies, se préoccupe des questions de l'eau et de l'assainissement insalubres, ainsi que par des difficultés liées à une demande accrue en ressources en eau dans le monde pour répondre aux besoins humains, économiques et environnementaux. Les changements climatiques sont dans le même temps apparus comme une menace existentielle au bien-être des personnes et à l'exercice effectif de l'ensemble des droits de l'homme, compromettant ainsi la sécurité de l'eau de centaines de millions de personnes et les écosystèmes partout dans le monde. Les cadres d'actions politiques internationales portant sur les changements climatiques doivent ainsi prendre en compte l'eau, d'autant plus qu'elle est fondamentale pour réduire les émissions de carbone et s'adapter à un climat de plus en plus variable. Malheureusement, il reste une séparation fondamentale entre la gestion de l'eau et la politique internationale.

Le Sommet mondial pour le développement durable de 2002 et ses Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) ont établi les bases du Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030) adopté en 2015, conjointement à deux autres accords mondiaux majeurs : l'Accord de Paris sur le climat et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe. Ces cadres politiques internationaux constituent une étape historique dans la lutte contre les difficultés mondiales les plus pressantes, mais ils contiennent toujours certains problèmes similaires à ceux des accords précédents. Tandis que le Programme 2030 reconnaît en théorie l'importance de relier entre eux les Objectifs de développement durable (ODD), cela n'a pas été fait en pratique, et les questions de réduction de la pauvreté, de santé et d'assainissement, de dégradation environnementale, de changements climatiques et de risques de catastrophe sont toujours abordées en « silos » distincts aux niveaux mondial et national. Par ailleurs, l'intégration entre les programmes mondiaux est également faible.

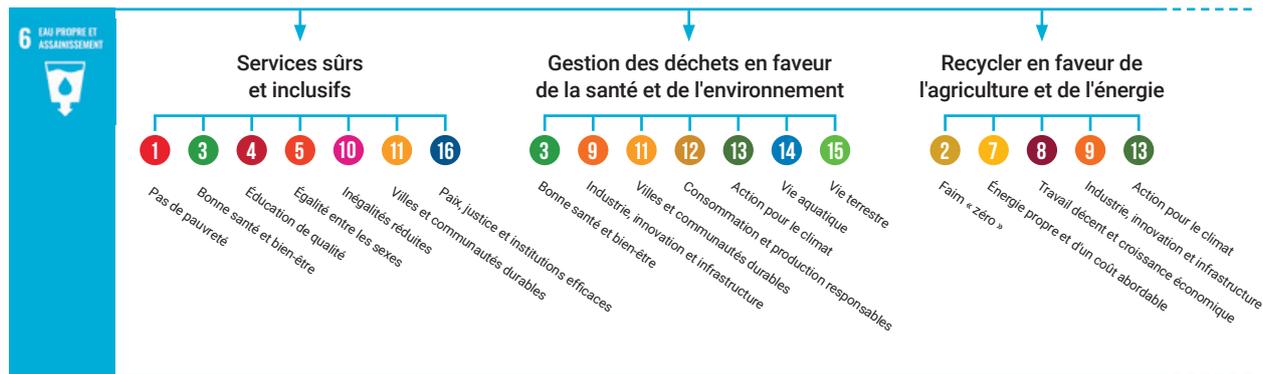
2.2 Aperçu des principaux accords

2.2.1 Programme de développement durable à l'horizon 2030

Le Programme 2030 décrit une trajectoire pour le développement mondial, qui est constituée d'un ensemble d'objectifs visant à « transformer notre monde » pour accéder au futur souhaité tout en ne laissant personne pour compte. Il considère les inégalités croissantes, l'épuisement des ressources naturelles, la dégradation environnementale et les changements climatiques comme les plus grands défis de notre temps. Il reconnaît que le développement social et la prospérité économique dépendent de la gestion durable des ressources en eau douce et des écosystèmes, et souligne l'importance de la nature intégrée des ODD (AGNU, 2015).

³ Commissionné par le PNUD SIWI WGF.

Figure 2.1 Relier les points



Source : Élaborée par l'Institut de Stockholm pour l'environnement pour la Suède (2018).

Dans le cadre du Programme 2030, l'eau est un facteur de lien (souvent) peu reconnu mais essentiel pour atteindre les ODD (figure 2.1). L'eau est fondamentale pour répondre aux besoins humains fondamentaux, comme présenté dans les ODD sur les droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement pour tous (ODD 5, 6), mais aussi pour les écosystèmes aquatiques (ODD 14) et terrestres, pour la production de nourriture (ODD 2) et d'énergie (ODD 7), pour appuyer les moyens de subsistance (ODD 8) et l'industrie (ODD 9, 12) et pour mettre en place des environnements durables et sains (ODD 1, 3, 11) (Suède, 2018). L'eau a un rôle essentiel à jouer, tant pour l'atténuation des changements climatiques et pour son adaptation (ODD 13) et, de ce fait, contribue à construire des sociétés résilientes, justes, pacifiques et inclusives (ODD 16) (White, 2018).

Tandis que l'ODD 13 « Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions » comprend des cibles et indicateurs spécifiques, il reconnaît également de manière explicite le fait que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) est le principal forum international de négociation et de surveillance de la réponse mondiale aux changements climatiques (voir section suivante). Sans forcément décrire en détail les questions liées à l'eau, plusieurs cibles et indicateurs de l'ODD 13 (figure 2.2) sont pertinents pour l'eau ou dépendent de l'eau (13.1, 13.2, 13.B). En même temps, l'ODD 13 représente aussi parfaitement le manque de lien fondamental entre les ODD, ainsi qu'entre le Programme 2030 et les autres cadres mondiaux. Il n'existe par exemple aucun mécanisme formel reliant l'ODD 13 aux objectifs de l'Accord de Paris de la CCNUCC, ce qui entraîne des processus parallèles.

Figure 2.2 ODD 13 : Cibles portant sur l'eau ou dépendant de l'eau

13 ACTION POUR LE CLIMAT	CIBLE 13.1	CIBLE 13.2	CIBLE 13.3	CIBLE 13A	CIBLE 13B
Prendre des mesures d'urgence pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions	Renforcer la résilience et les capacités d'adaptation face aux catastrophes naturelles liées au climat	Incorporer des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques et la planification	Améliorer l'éducation et les capacités en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques	Mettre en œuvre la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques	Promouvoir des mécanismes de renforcement des capacités pour avoir des moyens efficaces de planification et de gestion pour faire face aux changements climatiques

Source : Plateforme de connaissances sur les Objectifs de développement durable des Nations Unies (en anglais).

Compte tenu du rôle de l'eau dans l'atténuation des changements climatiques et à son 'adaptation, l'eau pourrait constituer un lien, tant entre les ODD eux-mêmes qu'entre les cadres politiques comme l'Accord de Paris.

Une approche intégrée du Programme 2030 reconnaît que la majorité des aspects de la société, du développement, de la croissance durable et de l'environnement sont symbiotiques. Pourtant, au cours de la session de juillet 2018 du Forum politique de haut niveau (FPHN), lors de l'examen de l'ODD 6 entre autres ODD, de même que lors de la présentation des rapports nationaux volontaires, les pays ont reconnu que les ODD étaient traités de manière séparée et qu'ils ne permettraient pas d'atteindre l'ODD 6, en particulier pour les communautés les plus pauvres et vulnérables (FPHN, 2018).

Par ailleurs, l'ODD 6, comme les autres ODD, compte des cibles universellement applicables et progressives. Chaque gouvernement doit toutefois décider de la manière de les intégrer aux processus, politiques et stratégies de planification nationaux fondées sur des réalités nationales, des capacités, des niveaux de développement et des priorités (ONU, 2018a). Ces décisions sont prises, en ce qui concerne le climat, par des mécanismes nationaux spécifiques qui ont été convenus à la 21^e Conférence des Parties (Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques, 2015, COP21) dans le cadre de l'Accord de Paris (voir section 2.2.2 et chapitre 11). Il existe ainsi une opportunité unique de relier la mise en œuvre des programmes mondiaux aux niveaux national et local en intégrant et en traitant les questions relatives à l'eau de manière intégrée et systémique lors des discussions sur les engagements concernant le climat.

Compte tenu du rôle de l'eau dans l'atténuation des changements climatiques et à l'adaptation à ses effets, l'eau pourrait constituer un lien, tant entre les ODD eux-mêmes qu'entre les cadres politiques comme l'Accord de Paris

2.2.2 Accord de Paris sur le changement climatique

La CCNUCC est entrée en vigueur en 1994 après avoir été formellement adoptée lors du Sommet de la Terre de Rio en 1992. Dans le cadre de la CCNUCC, des instruments juridiques ou « protocoles » ont été employés pour atteindre les objectifs de la convention. L'Accord de Paris adopté à la COP21 a été ratifié rapidement et est entré en vigueur à la veille de la COP22, qui a eu lieu en 2016 à Marrakech, Maroc.

L'objectif à long terme de l'Accord de Paris est de « [contenir] l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et [de poursuivre] l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques » (CCNUCC, 2015, article 2). L'Accord se concentre sur l'atténuation des changements climatiques et à son adaptation, ainsi que sur les besoins financiers qui permettront d'atteindre cet objectif. Malheureusement, les résultats de la COP25 en 2019 semblent suggérer qu'atteindre l'objectif à long terme de l'Accord de Paris pourrait s'avérer plus difficile que prévu.

Comment se traduit-il concrètement ?

En vertu de l'Accord de Paris, chaque Partie s'engage à déterminer, prévoir et établir régulièrement des rapports sur les mesures qu'il entreprendra pour atténuer les changements climatiques et s'adapter à ceux-ci. Ces mesures, connues sous le nom de contributions déterminées au niveau national, sont examinées tous les cinq ans. Les prochaines CDN seront soumises en 2020. Ces contributions sont conçues pour être progressives et les contributions portant sur les mesures d'adaptation sont de nature volontaire.

Outre les contributions déterminées au niveau national (CDN), les Parties à la CCNUCC sont également encouragées à élaborer des plans nationaux d'adaptation (PNA). Ces plans visent à identifier les besoins d'adaptation à moyen et long terme et à développer les stratégies nécessaires pour y répondre. Ils prennent idéalement en compte le Programme 2030 et s'efforcent d'intégrer les ODD et leurs cibles le cas échéant. Ainsi, si les cibles des ODD sont conformes aux ambitions des contributions déterminées au niveau national, exécuter les contributions déterminées au niveau national et les PNA devrait aider les pays à atteindre les ODD, ce qui, à son tour, devrait faciliter les efforts d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à ceux-ci des pays (Hamill et Price-Kelly, 2017 ; Northop et al., 2016).

Par ailleurs, l'Accord de Paris reconnaît spécifiquement le besoin d'aborder les pertes et les dommages, puisque des mesures d'adaptation adoptées seules ne peuvent éviter de nombreux effets des changements climatiques. Il précise que les pertes et les dommages peuvent prendre diverses formes – elles peuvent être des effets immédiats d'événements climatiques extrêmes ou des impacts à évolution lente tels que la perte de littoraux du fait de l'élévation du niveau de la mer (section 2.2.3). Les interventions en matière de gestion de l'eau peuvent constituer un intermédiaire et offrir des solutions, y compris des solutions fondées sur la nature qui peuvent aider les communautés et les écosystèmes à prévenir les catastrophes, s'y adapter et s'en relever.

L'Accord de Paris reconnaît aussi les rôles cruciaux des parties non étatiques telles que les autorités locales, le secteur privé, le milieu universitaire, les organisations de la société civile, les organisations internationales et non gouvernementales, les fondations, les femmes, les peuples autochtones et les jeunes dans l'atteinte de ses objectifs (CCNUCC, 2015). Le Plan mondial d'action pour le climat (connu sous le nom de Partenariat de Marrakech pour l'action mondiale en faveur du climat – MPGCA) (CCNUCC, 2019) permet aux Parties non étatiques de contribuer à la CCNUCC, de présenter des solutions et d'entreprendre des actions concrètes sur place. À l'initiative de la communauté de l'eau, l'eau se dote d'un « porte-parole » officiel dans le cadre du MPGCA⁴, ce qui signifie que des événements sur l'eau et les événements climatiques approuvés par la CCNUCC sont organisés à chaque COP, et que l'eau est l'un des groupes thématiques permanents représentés dans le Partenariat de Marrakech.

Depuis la ratification de l'Accord de Paris, des mesures tangibles ont été prises pour réduire les émissions de GES et prendre des mesures d'adaptation ; plus de 160 pays ainsi que l'Union européenne ont soumis des CDN (Northop et al., 2016). Cependant, comme l'indique le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), davantage de mesures sont nécessaires pour atteindre les objectifs de l'accord (GIEC, 2018b). M. Frank Binimarama, Premier Ministre de Fidji et Président de la COP23, a souligné à la session plénière de clôture de la COP24 la nécessité d'étendre les ambitions, et il a noté que le monde avait besoin de « cinq fois plus d'ambition, cinq fois plus d'action » pour atteindre les objectifs de l'Accord (ONU Info, 2018).

L'eau dans l'Accord de Paris – un trésor caché

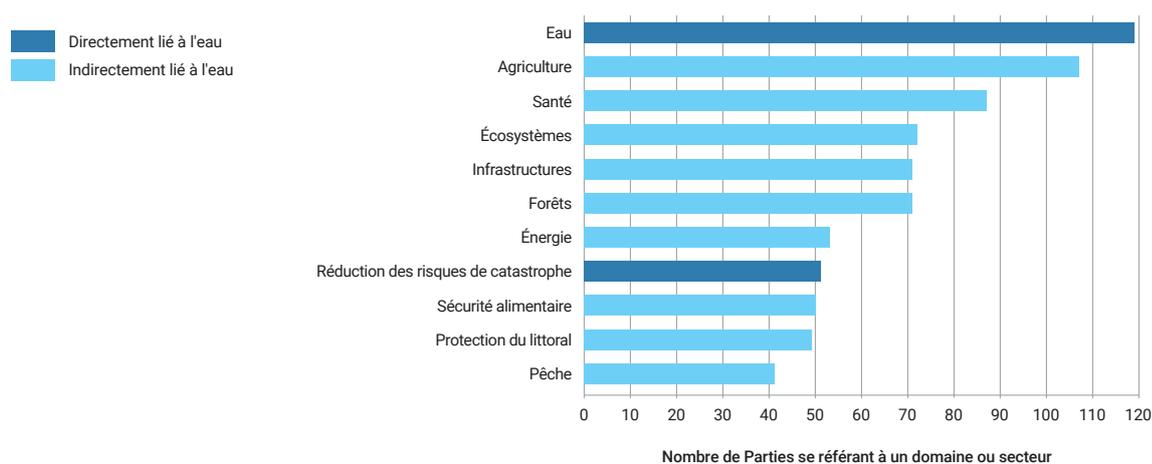
Bien que l'eau ne soit pas mentionnée dans l'Accord de Paris en tant que telle, elle est une composante essentielle de la majorité des stratégies d'atténuation et d'adaptation – du stockage du carbone dans les écosystèmes terrestres aux technologies émergentes en matière d'énergie propre en passant par l'adaptation aux événements climatiques extrêmes (White, 2018). L'eau est identifiée comme une priorité dans la majorité des actions d'adaptation des contributions déterminées prévues au niveau national, et est directement ou indirectement liée à tous les autres domaines prioritaires (figure 2.3). La majorité des aléas identifiés concernent également l'eau (figure 2.4).

Par ailleurs, puisque de nombreux ODD ainsi que leurs cibles pertinentes sont abordés dans les priorités de ces CDN, transformer les engagements liés à l'eau en PNA ou d'action donne aux pays et aux villes la possibilité de répondre aux besoins de manière intégrée, holistique, effective, efficace et durable pour construire des sociétés résilientes.

Outre la CCNUCC, des groupes indépendants tels que le Partenariat pour les CDN œuvrent pour relier les ODD aux CDN et aux PNA. Le partenariat représente une opportunité pour les organisations internationales pour l'eau de devenir membres et d'appuyer l'exécution de CDN revues plus ambitieuses en 2020, qui intègrent mieux l'eau à la phase opérationnelle des contributions déterminées et des plans nationaux d'adaptation.

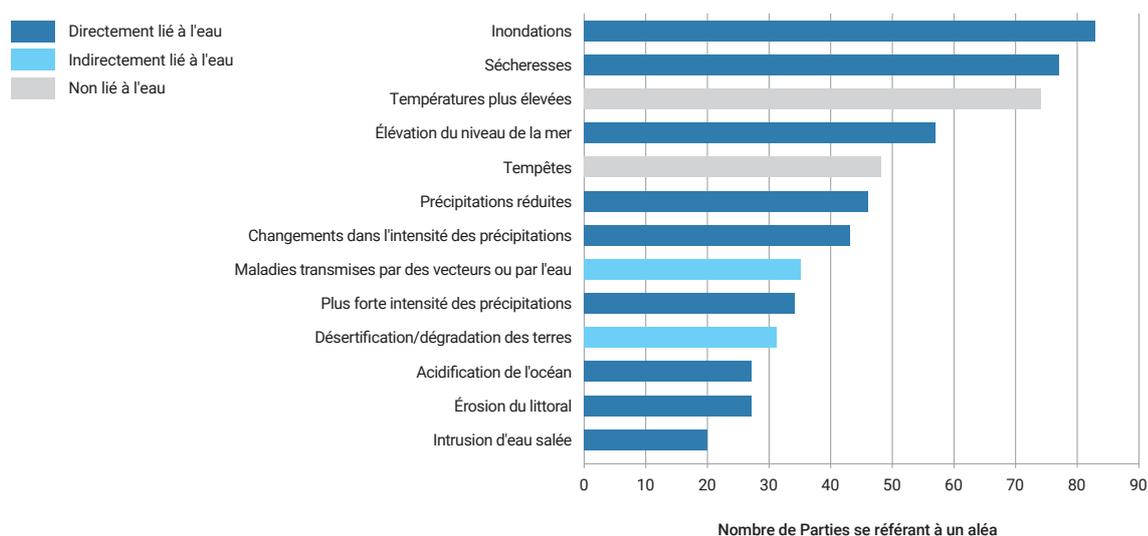
⁴ On compte parmi les organisations participantes l'AGWA, l'ARUP, la CDP, CEO Water Mandate, Deltares, la FAO, la PFE, le RIOB, SIWI, SUEZ, l'UNESCO, le WRI et le CME (liste non exhaustive). En juillet 2016, SIWI a coordonné et soumis, pour le compte de plusieurs organisations internationales, une lettre officielle aux champions de la COP21 et de la COP22 pour promouvoir la valeur ajoutée d'un axe spécifique sur l'eau dans le Partenariat de Marrakech.

Figure 2.3 Domaines et secteurs prioritaires pour les actions d'adaptations identifiées dans la composante d'adaptation des contributions prévues déterminées au niveau national (CPDN)



Source : Adapté de la CCNUCC (2016, fig. 16, p. 72), y compris l'analyse du GWP.

Figure 2.4 Aléas climatiques clés identifiés dans la composante d'adaptation des CPDN



Source : Adapté de la CCNUCC (2016, fig. 14, p. 66) et l'analyse du GWP.

2.2.3 Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030

Le 18 mars 2015, les États membres de l'ONU ont adopté le Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 (« Cadre de Sendai »). Ce cadre non contraignant englobe sept cibles types mondiales et quatre priorités d'action conçues pour réaliser « la réduction substantielle des pertes et des risques liés aux catastrophes en termes de vies humaines, d'atteinte aux moyens de subsistance et à la santé des personnes, et d'atteinte aux biens économiques, physiques, sociaux, culturels et environnementaux des personnes, des entreprises, des collectivités et des pays » (UNDRR, 2015a).

Pour obtenir ce résultat, les États membres doivent élaborer des stratégies nationales et locales de réduction des risques de catastrophe (RRC) disponibles publiquement d'ici 2020 (cible E). Les parties prenantes non membres sont également invitées à prendre des engagements volontaires pour aider le Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (UNDRR) à suivre et répandre les actions visant à atteindre les cibles du Cadre de Sendai.

Avant le Cadre de Sendai, les stratégies mondiales de RRC étaient principalement axées sur les activités de secours en cas de catastrophe. L'un des principaux objectifs de Sendai est de promouvoir les stratégies de prévention active et de reconstruction renforcée en vue de renforcer la résilience et de réduire les risques à long terme d'aléas soudain ou d'aléas à évolution lente au sein et hors des secteurs aux niveaux local, national et international (priorités 3 et 4). La transition des secours en cas de catastrophe à la prévention et la préparation est un processus toujours en cours, influencée par des interactions complexes entre plusieurs facteurs de catastrophe, notamment les changements climatiques, l'inégalité, les changements démographiques et la distribution de la population, ainsi que la dégradation environnementale (Briceño, 2015).

Bien que l'eau ne soit que rarement mentionnée dans le Cadre de Sendai en lui-même, l'eau est présente dans chacune des priorités d'action et est au cœur de toutes les cibles. Les inondations et les tempêtes représentent près de 90 % des catastrophes naturelles les plus sévères (Adikari et Yoshitani, 2009). Les aléas liés à l'eau sont particulièrement vulnérables aux plus légères variations du climat, et la fréquence, la magnitude et l'intensité de ces aléas changent ainsi au fil du temps (Milly et al., 2005).

La reconnaissance des liens clairs entre l'eau, les changements climatiques et les catastrophes est au cœur du Cadre de Sendai. Depuis 2007, le Groupe d'experts et de dirigeants de haut niveau sur l'eau et les catastrophes naturelles de l'ONU (HELP) s'efforce de sensibiliser au sujet des liens entre l'eau et les catastrophes naturelles (encadré 2.1) et vise à combler les lacunes entre leurs communautés politiques respectives.

2.2.4 Conventions internationales sur l'eau

Les cadres juridiques et intergouvernementaux au niveau mondial portant sur l'eau, tels que la Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation (Convention sur les cours d'eau) et la Convention sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux (Convention sur l'eau), offrent un cadre permettant de lutter contre les effets des changements climatiques sur les ressources en eau.

De nombreuses dispositions du droit international relatif à l'eau appuient les mesures d'adaptation aux changements climatiques comme les principes d'utilisation équitable et raisonnable, le principe de « ne pas causer de dommages significatifs » et le principe de précaution (CEE/RIOB, 2015). Ainsi, bien que la Convention sur l'eau ne mentionne pas explicitement le climat, elle offre un outil puissant de coopération en exigeant des Parties qu'elles préviennent, contrôlent et réduisent les impacts transfrontières sur les ressources en eau, y compris les impacts relatifs à l'adaptation aux changements climatiques et à son atténuation.

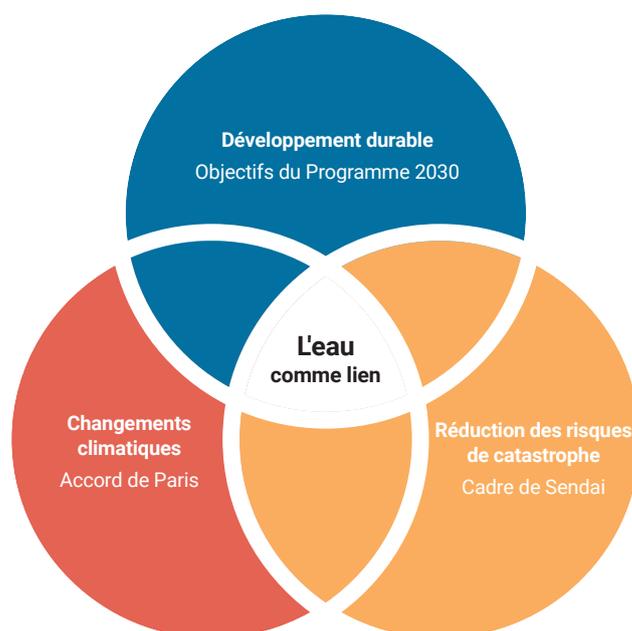
Au niveau régional, le Protocole sur l'eau et la santé contribue à protéger la santé et le bien-être des personnes en améliorant la gestion de l'eau et en réduisant les maladies transmises par l'eau sur lesquelles les changements climatiques influent.

Bien que les lignes directrices des cadres transfrontières sur l'eau aient été ratifiées ou signées par plusieurs pays, le non-respect et des obstacles à l'expansion de la coopération transfrontière existent toujours. La nécessité urgente de coopérer pour lutter contre les changements climatiques peut néanmoins constituer une incitation à établir une plus vaste coopération dans les bassins hydrographiques transfrontaliers.

2.3 L'eau comme lien pour soutenir la mise en œuvre d'accords mondiaux

En ce qui concerne l'eau et les changements climatiques dans le cadre du Programme 2030, l'ODD 6 et l'ODD 13 influent directement ou indirectement sur le reste des objectifs. Les défis relatifs au développement, à l'élimination de la pauvreté et à la durabilité sont étroitement liés à ceux relatifs à l'atténuation des changements climatiques et à son adaptation, notamment à travers l'eau. L'eau n'est pas un secteur mais un lien, et les impacts induits par les changements climatiques touchent à tous les aspects de notre société (économique, sociale et environnementale) (White, 2018). Une volonté et une direction politiques fortes sont nécessaires pour mettre en lumière la valeur de l'eau et l'intégrer lors de la mise en œuvre d'accords au niveau mondial (figure 2.5).

Figure 2.5 L'eau comme vecteur d'engagements pris au niveau mondial en 2015



Source : ONU-Eau (2019, p. 9). © 2019 Organisation des Nations Unies. Réimprimé avec la permission de l'Organisation des Nations Unies.

Plusieurs initiatives menées par des dirigeants de pays, des États membres et l'ONU ont été lancées pour combler les lacunes et trouver des moyens de mettre en œuvre les objectifs des accords au niveau mondial de manière plus efficace et durable (encadré 2.1). Ces initiatives reconnaissent l'eau comme un vecteur et un facilitateur pour mettre en œuvre les programmes mondiaux. Il existe pourtant un décalage lors de la transformation de ces recommandations et politiques internationales en actions concrètes sur le terrain.

Bien que ces efforts puissent être louables, rassembler davantage d'informations, de perspectives et de mécanismes financiers à partir des communautés concernées par l'eau, la RRC et les changements climatiques serait bénéfique, améliorerait le rapport coût-efficacité et contribuerait à veiller à ce que leurs choix respectifs ne compromettent pas les autres et ne renforcent pas involontairement les risques qu'ils encourrent (Matthews et al., 2018).

Si l'eau est souvent considérée comme un secteur autonome, il est essentiel qu'elle soit reconnue comme vecteur. Par exemple, bien que l'eau soit relativement prioritaire dans le programme d'adaptation, les CDN n'offrent pas la possibilité d'améliorer les prises de décisions, politiques et institutions intersectorielles de gestion de l'eau au niveau national pour atteindre les cibles et éviter tout compromis ou conflit difficiles. Certains progrès ont été faits à cette fin lors de la 74^e Assemblée générale des Nations Unies (AGNU) organisée en septembre 2019 (encadré 2.2).

L'eau représente bien plus que les services WASH (eau, assainissement et hygiène) et la gestion des ressources en eau. Elle est la base de toute vie sur Terre, et constitue un droit fondamental. Intégrer l'eau aux processus mondiaux sur le climat, le développement et la RRC pourrait permettre de relier les questions de changements climatiques à tous les autres ODD. Placer l'eau au cœur de ces stratégies est fondamental pour avancer, et contribuerait à aider la communauté de l'eau à transmettre son message à la communauté du climat et à un public plus large.

Encadré 2.1 Initiatives de haut niveau lancées par les dirigeants de pays et l'Organisation des Nations Unies

En 2016, le Secrétaire général de l'ONU Ban Ki-moon et le Président du Groupe de la Banque mondiale Jim Yong Kim ont établi un « Forum de haut niveau sur l'eau » qui comprend plusieurs dirigeants de pays, représentants du gouvernement ainsi qu'un conseiller spécial avec un mandat de deux ans. En mars 2018, le Forum de haut niveau a rendu son rapport intitulé « Making Every Drop Count: An Agenda for Water Action » (Pour que chaque goutte compte : un programme d'action pour l'eau), qui présente les aspects de l'eau qui permettront de mettre en œuvre de nombreux Objectifs de développement durable (ODD) (HLPW, 2018a). Les recommandations de ce rapport peuvent être utiles pour formuler l'interdépendance des ODD, de l'Accord de Paris et du Cadre de Sendai en vue de la durabilité à long terme, en particulier en ce qui concerne la résilience et la réduction des impacts des catastrophes liées à l'eau.

Le **Forum d'experts et de dirigeants de haut niveau sur l'eau et les catastrophes naturelles** (HELP/Conseil consultatif sur l'eau et l'assainissement) a été établi à la demande du Conseil consultatif sur l'eau et l'assainissement auprès du Secrétaire général de l'ONU en 2007. Il a pour but de mieux sensibiliser le grand public et d'encourager les actions tangibles visant à répondre aux questions relatives à l'eau et aux catastrophes en transmettant des rapports et organisant deux fois par an des Sessions thématiques des Nations Unies spéciales sur l'eau et les catastrophes naturelles. Ce Forum d'experts et de dirigeants vise à exhorter les pays à prendre des mesures préventives contre la fréquence accrue et les impacts élevés des catastrophes liées à l'eau découlant des changements climatiques, de la croissance démographique et de l'urbanisation rapide. Il a pour objectif de ne plus considérer la réduction des risques de catastrophe (RRC), la gestion des ressources en eau et l'adaptation aux changements climatiques comme des sujets distincts.

La **Décennie internationale d'action sur le thème « L'eau et le développement durable »** (2018-2028) a débuté en mars 2018, après avoir été adoptée par la 71^e Assemblée générale des Nations Unies (AGNU). Elle vise à accélérer les efforts à relever les défis liés à l'eau, y compris l'accès limité à l'eau et à l'assainissement, la pression exacerbée sur les ressources en eau et les écosystèmes, et le risque accru de sécheresses et d'inondations. La Décennie aspire principalement à ce que la communauté internationale stimule la mise en œuvre des programmes et projets existants comme le Programme de développement durable à l'horizon 2030, le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (2015-2030) et l'Accord de Paris de 2015, de manière coordonnée et efficace en vue d'améliorer davantage la coopération, le partenariat et le renforcement des capacités. L'examen à mi-parcours de la Décennie en 2023 montrera la manière dont l'eau a été prise en compte comme facteur de mise en œuvre des programmes mondiaux (ONU, 2018b).

Encadré 2.2 Progrès lors de la 74^e Assemblée générale des Nations Unies (septembre 2019)

Plusieurs sommets sur l'action climatique, le développement durable et le financement pour le développement ont été organisés en parallèle de la 74^e Assemblée générale des Nations Unies (AGNU) qui s'est tenue en septembre 2019. Les dirigeants de pays et les délégations nationales se sont rassemblés à New York pour réaffirmer leur engagement à mettre en œuvre ces programmes. Lorsqu'il a appelé à l'organisation de ces sommets, Antonio Guterres, le Secrétaire général de l'ONU, a spécifiquement demandé aux pays de « ne pas venir au Sommet armé de beaux discours... le prix d'entrée est une action forte et une plus grande ambition encore » (SGNU, 2019), lorsqu'il a présenté l'urgence de la situation.

La déclaration politique du Forum politique de haut niveau (FPHN), unanimement adoptée par l'AGNU, a validé le prochain cycle de cinq ans du Programme 2030 et a présenté l'engagement des pays : à « ne laisser personne pour compte » ; à réduire les risques de catastrophe et à renforcer la résilience des pays, des économies, des communautés et des individus aux chocs et catastrophes économiques, sociaux et environnementaux ; et à améliorer la collecte des données et l'établissement de rapports aux niveaux mondial et national (FPHN, 2019). Par ailleurs, les dirigeants mondiaux ont pris note du rapport d'activité du Secrétaire général sur les ODD (ONU, 2019) et du Rapport mondial sur le développement durable (Groupe indépendant de scientifiques nommés par le Secrétaire général, 2019) et ont reconnu l'importance d'une approche systémique et holistique tenant compte des interactions entre les objectifs et les cibles.

Enfin, dans le cadre du Sommet Action Climat des Nations Unies, la Commission mondiale sur l'adaptation (GCA) a présenté son rapport phare intitulé « *Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience* » (S'adapter maintenant : un appel mondial à diriger la résilience aux changements climatiques), et a appelé à la déclaration de l'année 2020 comme l'Année de l'action pour l'adaptation. L'eau est omniprésente dans ce rapport, et un domaine d'action dédié à l'eau a été annoncé pour favoriser l'adaptation par le biais de la gestion résiliente de l'eau (GCA, 2019).

Les principaux résultats de ce sommet comprennent le fait que les dirigeants mondiaux, encouragés par les citoyens et les mouvements de jeunes, ont appelé à une décennie d'actions ambitieuses visant à « ne laisser personne pour compte » et ont annoncé des actions concrètes pour permettre la mise en œuvre de leurs engagements. Ils se sont de nouveau engagés à garantir la protection durable de la planète et de ses ressources naturelles, y compris l'eau douce, et à protéger et conserver les ressources aquatiques et terrestres mondiales, tout en reconnaissant leur rôle crucial dans l'atténuation des changements climatiques et de son adaptation. De nombreux pays et dirigeants de pays ont également souligné l'importance de gérer les ressources en eau et d'atteindre les objectifs d'assainissement.

Le défi majeur reste le fait de rassembler toutes ces intentions et initiatives dans un procédé complet et cohérent qui permet des plans d'actions concertés et amplifiés au lieu de processus isolés, parallèles, aux niveaux mondial, régional, national et local. Déterminer les initiatives pour l'eau annoncées à ces sommets et mettre l'accent sur la manière dont elles se complètent et se nourrissent les unes des autres serait un moyen efficace de réaliser des progrès et de veiller à ce que les possibilités de financement et les lacunes identifiées lors du Sommet sur le financement du développement (2019) soient prises en compte.

3

Disponibilité de l'eau, infrastructures et écosystèmes



Vue aérienne du traitement des eaux usées.

Le présent chapitre établit des liens entre les changements climatiques et les divers aspects de la gestion de l'eau. Les différentes solutions d'adaptation et de renforcement de la résilience en rapport avec le stockage de l'eau – y compris les eaux souterraines – ainsi que les infrastructures d'approvisionnement et d'assainissement y sont présentées, de même que des solutions d'approvisionnement en eau non conventionnelles. Des solutions d'atténuation pour les systèmes de gestion de l'eau y sont également présentées.

3.1 Impacts sur les ressources en eau et les infrastructures

3.1.1 Pénurie d'eau, dégradation de l'écosystème et pollution de l'eau

Comme on l'a noté dans le prologue, les changements climatiques aggravent la pénurie d'eau. Les changements climatiques posent des problèmes contradictoires qui varient d'une région à l'autre en fonction de la définition donnée à la pénurie d'eau et de l'interprétation qui en est faite (Falkenmark et al., 1989 ; Seckler et al., 1999). La pénurie économique de l'eau est en général causée par un manque d'infrastructures propres à assurer l'accès à l'eau (Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture, 2007), et se produit généralement en Afrique et dans certaines parties de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud. Développer davantage d'infrastructures d'adduction d'eau dans ces régions constitue le seul moyen d'atténuer la pénurie, mais cela devrait tenir compte des impacts des changements climatiques déjà observés (ou susceptibles de se produire). En revanche, la pénurie physique d'eau, due à des prélèvements excessifs et à une infrastructure bien développée pour l'utilisation humaine ou à l'aridité naturelle, se produit généralement en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, en Asie centrale, en Chine du Nord, en Australie et en Afrique australe.

L'eau assure la subsistance des écosystèmes terrestres (forêts, prairies, etc.) et d'eau douce (rivières, lacs et zones humides), qui fournissent des services importants tels que l'approvisionnement en eau, la purification naturelle, la production alimentaire, les valeurs culturelles et les activités économiques. Pourtant, en plus des impacts des changements climatiques, la dégradation rapide des écosystèmes – due aux polluants provenant des activités industrielles, minières et agricoles, aux déchets urbains et ruraux non traités, aux marées noires et aux déversements toxiques – a eu des effets négatifs importants sur la biodiversité et les écosystèmes d'eau douce, menaçant également les services écosystémiques essentiels. Environ 1 million d'espèces animales et végétales sont menacées d'extinction, et les espèces d'eau douce sont celles qui ont diminué le plus, avec une baisse de 84 % depuis 1970. Plus de 85 % des zones humides dans le monde ont été perdues entre les 18^e et 21^e siècles et continuent de disparaître à un rythme trois fois plus rapide que la perte des forêts. Depuis 1970, le nombre d'espèces exotiques envahissantes dans les zones humides (par exemple, carpe asiatique, jacinthe d'eau, nutriments) a augmenté de 70 % (IPBES, 2019). L'épuisement et la pollution de l'eau sont les principales causes de la perte de biodiversité et de la dégradation des écosystèmes, qui, à leur tour, réduisent la résilience des écosystèmes, rendant les sociétés plus vulnérables aux risques climatiques et non climatiques.

La mauvaise qualité de l'eau due à l'eutrophisation (principalement due à un mauvais assainissement et à une mauvaise gestion des nutriments) est l'un des problèmes les plus répandus qui affectent les réserves d'eau disponibles, la pêche et les activités récréatives. Par exemple, le coût estimé des dommages causés par seule l'eutrophisation aux États-Unis s'élève à environ 2,2 milliards de dollars EU par an (Dodds et al.,

2009). On s'attend à ce que les changements climatiques exacerbent la dégradation de la qualité de l'eau en raison de la hausse des températures de l'eau, de la réduction de l'oxygène dissous et donc de la capacité d'autoépuration des plans d'eau douce. Étant donné que les inondations et les sécheresses sont susceptibles de s'intensifier en raison des changements climatiques, il existe d'autres risques de pollution de l'eau et de contamination pathogène causés par les inondations ou par les concentrations plus élevées de polluants pendant la sécheresse.

L'urbanisation est une source importante de pollution, en particulier dans les pays en développement et surtout pour les eaux souterraines, en raison de la gestion inadéquate de l'élimination des déchets solides et de la mauvaise gestion des infrastructures d'assainissement. Même lorsque les systèmes d'assainissement sont bien gérés, les changements climatiques peuvent indirectement exacerber le risque de contamination des eaux souterraines par le passage à un assainissement sur place non protégé et à la défécation en plein air lorsque les sécheresses limitent la disponibilité de l'eau pour les toilettes à chasse et les pratiques d'hygiène appropriées associées aux systèmes d'assainissement bien gérés (McGill et al., 2019).

3.1.2 Menaces qui pèsent sur les infrastructures d'adduction d'eau

Les changements climatiques augmentent les risques pour les infrastructures d'adduction d'eau. Des inondations plus intenses et plus fréquentes augmentent les risques de dommages aux infrastructures de traitement et d'approvisionnement en eau, ce qui peut entraîner des interruptions de service. Les infrastructures d'adduction d'eau et de traitement des eaux usées des villes côtières de faible altitude sont plus sujettes à de graves inondations (Cain, 2017). Les stations d'épuration des eaux usées doivent faire face à une augmentation des incidents de pollution causés par les inondations. La variabilité croissante de l'intensité et des régimes des précipitations déclenchée par les changements climatiques a un impact important sur la performance des systèmes de drainage urbain, avec une augmentation des débordements combinés des eaux usées et des eaux pluviales lors de fortes précipitations et d'inondations (Tavakol-Davani et al., 2016).

Un autre problème émergent au niveau mondial est celui du vieillissement des infrastructures hydriques (Ansar et al., 2014 ; Grant et Lewis, 2015 ; Zarfl et al., 2015), bien que le schéma de vieillissement diffère d'une région à l'autre. Dans les infrastructures de stockage d'eau, le problème se manifeste par la sédimentation, l'augmentation des coûts d'exploitation et d'entretien, les changements structurels, les risques croissants de bris et la baisse générale de l'efficacité opérationnelle à mesure qu'une structure approche de sa fin de vie utile. Cependant, le vieillissement est également influencé par la variabilité changeante des débits entrants des rivières associées aux changements climatiques. L'incertitude accrue quant à la stationnarité de l'hydrologie en raison des changements climatiques rend nécessaire la réévaluation de la sécurité et de la durabilité des barrages de stockage d'eau, ainsi que leur évaluation en vue de potentielles modifications ou de leur désaffectation, de la minimisation de leurs impacts environnementaux et sociaux et de l'optimisation de leurs services. Pittock et Hartmann (2011) ont identifié plusieurs implications des changements climatiques pour la gestion des barrages de stockage d'eau existants, notamment : la défaillance des barrages due à de fréquents débits entrants extrêmes et soudains ; l'incapacité des barrages à remplir leurs fonctions prévues en raison des changements climatiques ; et les changements opérationnels des barrages imposés par les changements climatiques, tels que des stockages supplémentaires et des contrôles des débits entrants et sortants.

La nouvelle tendance à la désaffectation de barrages devenus dangereux, obsolètes ou inacceptables sur le plan social et environnemental est quelque peu liée à la question du vieillissement des infrastructures. L'ampleur et le rythme de la mise hors service des barrages augmentent, en particulier dans les régions qui ont une longue histoire de construction de réservoirs de retenue comme l'Europe et les États-Unis (Dam Removal Europe, s.d ; Thomas-Blate, 2018). Rien qu'aux États-Unis, plus de 80 barrages ont été mis à la désaffectation définitive en 2017, et au total quelque 1 275 barrages ont été mis hors service dans 21 états au cours des 30 dernières années. Cependant, ce démantèlement concerne principalement les petites structures. Il existe de nombreux barrages vieillissants dans le monde entier qui n'ont pas de valeur aujourd'hui ou qui sont de faible valeur. L'enlèvement est souvent la meilleure option, mais c'est généralement un processus à long terme et coûteux.

L'acheminement vers les zones urbaines et dans l'irrigation est souvent un goulot d'étranglement plus important que le stockage (PPIC Water Policy Center, 2018), car il doit faire face à des débits de pointe moins prévisibles dont l'ampleur et la fréquence augmentent progressivement. De nombreuses régions auront besoin d'investissements substantiels dans des infrastructures résilientes aux changements climatiques pour améliorer la fiabilité de l'adduction d'eau dans le contexte des changements climatiques.

Les événements extrêmes liés à l'eau, exacerbés par les changements climatiques, augmentent les risques pour les infrastructures d'eau potable, d'assainissement et d'hygiène (WASH), tels que les systèmes d'assainissement endommagés ou l'inondation des stations de pompage des égouts. La propagation conséquente des matières fécales et des protozoaires et virus associés peut entraîner de graves dangers pour la santé et une contamination croisée. La baisse de la qualité de l'eau, exacerbée par les changements climatiques, augmente les coûts de l'épuration des eaux. En outre, les changements climatiques peuvent compromettre l'efficacité des solutions de stockage d'eau disponibles – tant en surface, par exemple en raison de l'augmentation de l'évaporation déclenchée par l'augmentation de la température, qu'en sous-sol, par exemple en raison de l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers déclenchée par l'élévation du niveau de la mer induite par les changements climatiques. L'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques entraîne également l'intrusion d'eau salée dans les égouts des zones côtières (Laugier et al., 2010 ; Rasmussen et al., 2013). L'adaptation des infrastructures d'adduction d'eau aux changements climatiques dépend, dans une large mesure, de la façon dont on traite les problèmes divers et grandissants de pénurie et de pollution de l'eau, exacerbés par les changements climatiques comme indiqué ci-dessus.

3.2 Solutions envisageables pour améliorer la sécurité de l'eau dans un contexte de changements climatiques

3.2.1 Innovations et adaptation des infrastructures d'adduction d'eau conventionnelles

Comme le suggère la section 3.1.2, les changements climatiques remettent en question les solutions classiques en matière d'infrastructures d'adduction d'eau. Le fait de mettre davantage l'accent sur les projets d'infrastructure polyvalents pourrait aider en partie à relever le défi (Branche, 2015). Ces projets portent souvent à la fois sur la résistance à la sécheresse, la lutte contre les inondations, le développement régional et d'autres besoins, tout en fournissant des biens publics (navigation, gestion des bassins fluviaux, maintien de débits fluviaux « écologiques », etc.), reconnaissant le caractère transversal et multifonctionnel de l'eau. Des solutions fondées sur la nature (SfN) peuvent être mises en œuvre pour mieux s'adapter aux changements climatiques, pour accroître l'efficacité, l'efficacité et la robustesse des infrastructures de gestion de l'eau (y compris l'exploitation et l'entretien) et pour contribuer à l'atténuation des changements climatiques.

En tant qu'approche conventionnelle du stockage des eaux de surface, le potentiel de construction d'un plus grand nombre de réservoirs, en particulier de grands réservoirs, est de plus en plus limité par l'envasement, le ruissellement disponible, les préoccupations et restrictions environnementales et le fait que les sites les plus rentables et les plus viables – au moins dans les pays développés – ont déjà été utilisés. Bien qu'il soit peu probable que les SfN puissent remplacer certaines formes plus importantes d'infrastructures de stockage construites, des formes de stockage de l'eau plus respectueuses des écosystèmes, telles que les zones humides naturelles, la rétention de l'humidité du sol (à travers une gestion durable des terres) et une recharge plus efficace des eaux souterraines (section 3.2.2) pourraient contribuer à améliorer l'efficacité globale des opérations de stockage en surface (WWAP/ONU-Eau, 2018). Il est important d'identifier la combinaison la plus appropriée d'infrastructures conventionnelles et de SfN. L'on peut, par exemple, appliquer davantage de captage d'eau en amont afin de la libérer pour l'usage humain et les débits environnementaux, tout en utilisant les eaux usées traitées pour une recharge contrôlée des aquifères (MAR) dans les zones côtières afin de lutter contre l'intrusion d'eau de mer et la réutilisation à des fins urbaines. L'application de ces approches hybrides pourrait se développer rapidement si la politique et la gestion des ressources en eau et de l'aménagement du territoire tiennent compte de ces SfN et augmentent les investissements. Des données factuelles suggèrent que l'investissement dans les SfN reste bien en dessous de 1 % de l'investissement total dans les infrastructures de gestion des ressources en eau (WWAP/ONU-Eau, 2018).

Les impacts grandissants des changements climatiques et d'autres facteurs de changement déclenchent la nécessité d'une révision globale des stratégies nationales et régionales d'exploitation, de planification et de gestion du stockage (Scanlon et Smakhtin, 2016), y compris dans certains pays, comme les États-Unis, qui ont une longue histoire de développement du stockage à grande échelle (Ho et al., 2017). Dans le passé, les impacts écologiques du développement des infrastructures et les coûts futurs, comme l'entretien ou l'enlèvement, au-delà de la durée de vie économique prévue, n'étaient pas pleinement pris en compte ou évalués. Progressivement, la législation devient plus forte, donnant plus de valeur à l'écologie et aux considérations environnementales. Les impacts croissants des changements climatiques entraînent la nécessité de développer diverses innovations dans le domaine du stockage de l'eau – de diverses manières (voir, par exemple, encadré 3.1 ; WWAP/ONU-Eau, 2018, encadré 2.1, p. 39).

Encadré 3.1 Réservoirs côtiers comme option d'approvisionnement en eau pour les villes côtières

L'une des solutions nouvelles au problème d'approvisionnement en eau des mégapoles côtières est la création et l'utilisation de réservoirs côtiers, qui fournissent des installations de stockage d'eau à l'embouchure des rivières ou à proximité. Ce stockage est formé soit par un barrage construit en travers du fleuve, soit par des réservoirs de retenue construits le long d'une des rives, ou du littoral. Ces réservoirs sont généralement dotés d'un système de vannes qui sont actionnées de manière à capter l'eau douce, à réduire les risques d'inondation et à minimiser l'intrusion d'eau salée. De nombreuses villes côtières, dont Singapour, Hong Kong et Shanghai, utilisent des réservoirs côtiers pour leur approvisionnement en eau. Par exemple, le réservoir côtier de Qingcaosha, à l'embouchure du Yang-Tsé, achevé en 2010, fournit de l'eau à près de 50 % des habitants de la ville de Shanghai (Lin et al., 2018). La construction de plusieurs réservoirs côtiers en Chine a fait progresser leur conception et les meilleures pratiques globales de ce type de solution. Cependant, des défis tels que l'intrusion d'eau salée, le contrôle de la pollution, les efflorescences algales nuisibles (HAB), l'accumulation de sédiments et les déséquilibres des écosystèmes sont des éléments importants à prendre en compte dans la conception, la construction et l'exploitation des réservoirs côtiers. Des réservoirs côtiers en complément des approvisionnements locaux en eau ont été ou sont actuellement explorés dans d'autres pays, notamment en Inde (Sitharam, 2018), en Malaisie (Chong et al., 2018), aux Pays-Bas et en Australie (Yang et Ferguson, 2010). À noter que les Pays-Bas jouissent déjà d'une solide expérience historique et d'une grande expertise en matière de gestion des eaux côtières. Les réservoirs côtiers peuvent également fournir de l'énergie renouvelable s'ils se trouvent dans des régions à marnage élevé (Angeloudis et al., 2016).

Figure Vue aérienne du réservoir côtier de Qingcaosha à l'embouchure du fleuve Yangtze



Source : Adapté de Lin et al. (2018, fig. 12, p. 8).

Le renforcement de la résilience des infrastructures d'eau, d'assainissement et d'hygiène est particulièrement important dans les pays les moins avancés (PMA) et les petits États insulaires en développement (PEID), où la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques est relativement élevée. Selon l'OMS (2015a), les mesures d'adaptation et de résilience des systèmes d'assainissement pour lutter contre les changements climatiques devraient être mises en œuvre dans six catégories, notamment les technologies et les infrastructures, le financement, les politiques et la gouvernance, la main-d'œuvre, les systèmes d'information et la prestation de services. Le tableau 3.1 (OMS, 2018a) résume les mesures d'adaptation possibles pour certaines technologies d'assainissement et certains systèmes de gestion de l'assainissement clés.

Dans l'ensemble, les infrastructures d'adduction d'eau conventionnelles sont de plus en plus vulnérables aux changements climatiques et pourraient entraîner des coûts de plus en plus élevés ou des répercussions négatives sur la société et l'environnement. D'autre part, le manque d'infrastructures d'adduction d'eau de quelque nature que ce soit rend un pays encore plus vulnérable aux changements de régime hydrologique. Dans les pays où l'eau est économiquement rare, il faut développer plus d'infrastructures d'adduction d'eau, comme le stockage de l'eau et des systèmes fiables d'approvisionnement en eau et d'assainissement, de manière accélérée, tout en tenant clairement compte de l'incertitude et de la variabilité (généralement croissante) du climat futur.

3.2.2. Eau souterraine, stockage de l'eau souterraine et gestion combinée de l'eau

Dans de nombreuses régions du monde, les eaux souterraines et les aquifères représentent la plus grande source, ou source potentielle, de stockage d'eau, avec une capacité de stockage souvent de loin supérieure à celle des eaux de surface (Hanak et al., 2011). Étant donné que les aquifères s'étendent souvent sur de grandes zones et régions géographiques, ils fournissent une source d'eau et un stockage répartis dans l'espace ainsi qu'une certaine forme d'adduction d'eau intégrée. Les eaux souterraines sont également plus protégées contre la variabilité climatique saisonnière et pluriannuelle et moins immédiatement vulnérables que les eaux de surface (Green et al., 2011).

Les eaux souterraines peu profondes sont généralement plus accessibles par les communautés rurales et pauvres que le débit des cours d'eau en raison des infrastructures nécessaires pour exploiter et distribuer l'eau des rivières à des communautés rurales dispersées. Cependant, certaines régions, dont une grande partie de l'Afrique, manquent d'infrastructures telles que des puits, de capacités techniques pour construire et entretenir des infrastructures, et de caractérisation hydrogéologique des systèmes aquifères pour développer et utiliser durablement les ressources locales en eaux souterraines et améliorer le stockage de l'eau dans les aquifères locaux (UNESCO-PHI, 2015a et 2015b).

Les eaux souterraines sont également plus protégées contre la variabilité climatique saisonnière et pluriannuelle et sont moins immédiatement vulnérables que les eaux de surface

Le stockage en aquifère comprend non seulement les eaux souterraines déjà présentes dans les aquifères, mais aussi la possibilité de stocker de l'eau supplémentaire, si elle peut être captée. La recharge contrôlée des aquifères sert à diverses fins (Dillon et al., 2018 ; WWAP/ONU-Eau, 2018 ; GRIPP, s.d.), notamment à optimiser le stockage de l'eau, à reconstituer les aquifères qui s'épuisent, à améliorer la qualité de l'eau, à renforcer la gestion des inondations et à atténuer l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers ou les affaissements de terrain. Les approches de recharge contrôlée des aquifères peuvent utiliser de l'eau provenant de sources conventionnelles (généralement des eaux de surface) et non conventionnelles (par exemple de l'eau récupérée ou dessalée ; voir la section 3.2.3), par le biais de stratégies de gestion intégrées ou d'« utilisation combinée ». L'utilisation des eaux usées pour la MAR est en augmentation (GRIPP, s.d.).

Certes, les réservoirs de surface peuvent se remplir et se vider rapidement, créant ainsi un approvisionnement en eau flexible qui aide également à la gestion des inondations, mais le stockage sur une grande surface est coûteux et peut être écologiquement dommageable (Hanak et al., 2011). Les aquifères se rechargent et se vident plus lentement, ce qui les rend plus adaptés à un stockage à long terme. L'utilisation conjointe, en tirant parti d'un éventail de solutions de stockage, permet d'accroître la capacité globale de stockage d'eau d'une région, en utilisant davantage d'eau de surface (et en stockant davantage d'eau dans les aquifères) pendant les périodes humides, et en s'appuyant sur les eaux souterraines pendant les périodes sèches.

Tableau 3.1 Exemples d'options d'adaptation au climat pour des systèmes d'assainissement spécifiques

Système d'assainissement	Impact potentiel	Exemples d'options d'adaptation	Résilience globale
Systèmes <i>in situ</i>			
Latrines sèches et à faible débit	<ul style="list-style-type: none"> Stabilité des sols réduite, ce qui entraîne une moins bonne stabilité des fosses septiques Contamination environnementale et des eaux souterraines attribuées au débordement des latrines Utilisation, par les propriétaires de latrines, des eaux de crue pour nettoyer les fosses septiques Destruction des latrines en raison d'inondations ou de l'érosion 	<ul style="list-style-type: none"> Tapisser les fosses septiques en utilisant des matériaux locaux Conceptions de latrines adaptées localement : latrines surélevées ; fosses septiques plus petites et vidées plus souvent ; latrines à fosse fermées ; plinthes des fosses surélevées ; sols compacts autour des fosses ; distances de séparation appropriées ; utilisation de technologies appropriées en matière d'eaux souterraines ; infrastructures de protection autour du système Dans les zones très vulnérables : installations temporaires à faible coût Systèmes <i>in situ</i> dans des lieux moins vulnérables aux inondations, à l'érosion, etc. Fournir des services de vidange réguliers et abordables des fosses septiques Éliminer les excréta pour garantir le déversement des égouts ou les stations de transfert Encourager l'entretien des latrines, l'hygiène et les comportements sains au cours ou après d'événements extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Élevée (bonnes capacités d'adaptation grâce aux changements potentiels de conception)
Fosses septiques	<ul style="list-style-type: none"> Pénurie d'eau accrue, ce qui entraîne la diminution des ressources en eau et entrave le fonctionnement des fosses Élévation du niveau des eaux souterraines, événements extrêmes et/ou inondations, qui entraînent des dommages structurels aux fosses, inondent les drains, ménages et bassins de flottation, et provoquent la contamination de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> Installer des couvercles scellés sur les fosses septiques et des soupapes antiretour sur les canalisations pour prévenir les reflux S'assurer que les évacuations des égouts se trouvent au-dessus des niveaux attendus des inondations Promouvoir l'entretien des fosses, l'hygiène et les comportements sains au cours ou après d'événements extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Faible à intermédiaire (certaines capacités d'adaptation ; vulnérable à la réduction de la disponibilité de l'eau et aux inondations de réseaux unitaires)
Systèmes <i>ex situ</i>			
Système d'égouts conventionnel (par exemple, des égouts unitaires, des égouts par gravité)	<ul style="list-style-type: none"> Précipitations extrêmes entraînant le déversement d'eaux usées excédentaires et non traitées dans l'environnement Précipitations extrêmes entraînant le reflux d'égouts non traités dans les bâtiments Événements extrêmes endommageant les égouts et entraînant des fuites, induisant la contamination de l'environnement Élévation du niveau de la mer provoquant l'élévation du niveau des eaux dans les égouts des zones côtières, entraînant des reflux Pénurie d'eau accrue limitant les flux d'eau dans les égouts, augmentant le nombre de dépôts solides et les engorgements 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser des tunnels d'adduction profonds et des réservoirs pour intercepter et emmagasiner les reflux de l'égout unitaire Reconcevoir les systèmes pour séparer les eaux pluviales des égouts Décentraliser, lorsque possible, les systèmes pour localiser et contenir les impacts Fournir un espace supplémentaire pour emmagasiner les eaux pluviales Utiliser des grilles spéciales et des canalisations d'évacuation restreintes Installer des soupapes antiretour sur les canalisations pour prévenir les reflux Le cas échéant, installer des petites canalisations ou d'autres options à faible coût pour réduire les coûts des systèmes séparés Encourager l'hygiène et les comportements sains au cours ou après d'événements extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Faible à intermédiaire (certaines capacités d'adaptation ; vulnérable à la réduction de la disponibilité de l'eau et aux inondations de l'égout unitaire)

Système d'assainissement	Impact potentiel	Exemples d'options d'adaptation	Résilience globale
Systèmes ex situ (suite du tableau 3.1)			
Système d'égouts modifié (par exemple, des petites canalisations et des égouts peu profonds)	<ul style="list-style-type: none"> Inondations et événements extrêmes endommageant les égouts, surtout ceux peu profonds Égouts à petites canalisations : dommages aux canalisations faisant passer de la terre dans le système et entraînant des risques de dépôts solides et engorgements Égouts peu profonds : pénurie d'eau accrue limitant les flux d'eau dans les égouts, augmentant le nombre de dépôts solides et les engorgements 	<ul style="list-style-type: none"> Installer des soupapes antiretour sur les canalisations pour prévenir les reflux Mettre en place des réseaux d'égouts simplifiés qui puissent supporter les inondations et la flottaison, ou raccourcir les réseaux reliés à des centres de traitement décentralisés pour réduire la surcharge et la défaillance des égouts Encourager l'hygiène et les comportements sains au cours ou après d'événements extrêmes 	<ul style="list-style-type: none"> Intermédiaire (certaines capacités d'adaptation ; vulnérable aux inondations, mais moins vulnérable à la réduction de la disponibilité de l'eau que les égouts conventionnels)
Traitement des boues fécales	<ul style="list-style-type: none"> Événements climatiques extrêmes ou inondations détruisant ou endommageant les systèmes de traitement des eaux usées et entraînant le déversement d'égouts non traités, le débordement du système d'égouts et la contamination de l'environnement Précipitations extrêmes endommageant les bassins de sédimentation des déchets Événements extrêmes endommageant les basses stations d'épuration et provoquant la contamination de l'environnement Pénurie d'eau accrue entraînant une obstruction, réduisant les capacités des rivières ou bassins qui reçoivent les eaux usées 	<ul style="list-style-type: none"> Installer des dispositifs contre les inondations, les déversements et les écoulements (par exemple, digues) et mettre en place une bonne gestion de la captation d'eau Investir dans des systèmes d'alerte précoce et de l'équipement de réponse aux situations d'urgence (par exemple, les pompes mobiles hors site, les systèmes de traitement non électriques) Préparer un plan de réhabilitation pour les tâches de traitement Dans la mesure du possible : systèmes in situ dans des lieux moins vulnérables aux inondations, à l'érosion, etc. Fournir des moyens sûrs de vider manuellement la boue à faible teneur en humidité 	<ul style="list-style-type: none"> Faible à intermédiaire (certaines capacités d'adaptation ; vulnérable à l'augmentation ou à la réduction de la disponibilité de l'eau ; capacités d'entreposage réduites pouvant accroître les exigences en matière de traitement des boues)

Source : Adapté de OMS (2018a, tableau 3.6, pp. 54–56).

Les eaux souterraines sont sous-utilisées dans certaines régions, comme certaines parties de l'Afrique et de l'Asie centrale. Pourtant, on estime que 75 % des Africains utilisent les eaux souterraines à petite échelle, c'est-à-dire comme principale source d'eau potable, en particulier dans les zones rurales qui dépendent des puits et des forages creusés (Tuinhof et al., 2011). Cependant, seulement 1 % environ des terres cultivées en Afrique sont irriguées par des eaux souterraines et, pour la plupart, cette ressource reste sous-utilisée et fiable pour la production alimentaire irriguée (Altchenko et Villholth, 2015). De nombreuses autres régions, y compris certaines parties des États-Unis, de la Chine et de la plaine Indo-Gangétique du nord de l'Inde, souffrent d'une surexploitation des ressources en eau souterraine, qui a entraîné une baisse importante des nappes phréatiques (Tiwari et al., 2009 ; Wada et al., 2010 ; Famiglietti, 2014 ; Richey et al., 2015). Les changements climatiques peuvent exacerber des phénomènes, tels que l'augmentation de la température de l'air, ce qui entraîne une augmentation de l'évaporation des précipitations et donc une réduction de la recharge (Taylor et al., 2012).

La recharge des eaux souterraines peut également être affectée par les changements climatiques d'autres façons : dans les zones arides et semi-arides, l'intensité accrue des précipitations associée aux changements climatiques et amplifiée par ceux-ci (voir encadré 9.2) peut rendre la recharge des eaux souterraines plus épisodique et localisée (Cuthbert et al., 2019). Une gestion adéquate des eaux de surface et des eaux souterraines au moyen de diverses formes de MAR peut réduire les débits de pointe et les inondations, et en même temps atténuer l'épuisement des eaux souterraines (Muthuwatta et al., 2017).

Le stockage de l'eau est un problème particulièrement critique dans les îles de faible altitude, les atolls et de nombreux PEID. Ces communautés sont parmi les plus vulnérables aux changements climatiques en raison de l'élévation du niveau de la mer, qui a un impact direct sur le risque d'inondation, mais qui réduit également la taille des lentilles des eaux souterraines en raison de l'intrusion d'eau de mer. Une gestion et une utilisation appropriées des eaux souterraines seront importantes pour maintenir l'accès aux approvisionnements en eau potable dans de nombreux PEID. Le recours à la MAR a considérablement augmenté dans les aquifères côtiers du monde entier pour améliorer le stockage de l'eau et en partie pour minimiser l'intrusion d'eau de mer (GRIPP, n.d.). Cependant, il n'est pas largement fait écho de l'utilisation de la MAR sur les atolls ou les PEID (Hejazian et al., 2017). L'adaptation des PEID aux changements climatiques nécessitera davantage de programmes de MAR qui rechargent la lentille d'eau douce à partir des eaux de pluie ou des eaux pluviales captées pendant les périodes humides pour aider à soutenir les communautés pendant les périodes sèches (UNESCO-PHI, 2015b).

3.2.3 Ressources en eau non conventionnelles

La demande croissante d'eau, consécutive à la croissance démographique et de la nécessité de produire davantage d'aliments, exerce une pression grandissante sur les ressources en eau limitées disponibles, en particulier dans les régions où l'eau est physiquement rare. Cette situation est accentuée par le fait que les améliorations de l'efficacité de l'exploitation des sources et des approches conventionnelles sont plafonnées (Banque mondiale, 2017a). Il est de plus en plus nécessaire de prendre en compte diverses ressources en eau « non conventionnelles » et/ou [régionalement] sous-utilisées (figure 3.1) dans le cadre de la gestion de l'eau et de la planification de l'eau pour l'avenir (Qadir et Smakhtin, 2018). Les ressources en eau non conventionnelles sont générées par des processus ou des technologies spécialisées pour collecter l'eau ou y accéder. Elles peuvent nécessiter un traitement préalable approprié, pouvant inclure une gestion à la ferme lorsqu'elles sont utilisées pour l'irrigation (Qadir et al., 2007).

Figure 3.1 Exemples de ressources en eau et de technologies non conventionnelles



Eaux usées



Eau dessalée



Captage d'eau atmosphérique
(brouillard, ensemencement des nuages)

Crédit photo : Eaux usagées/eaux usées : Manzoor Qadir (UNU-INWEH) ; Eau dessalée : Usine de dessalement sur la côte du golfe Persique (été 2016) : © Stanislav71/Shutterstock.com ; et Captage d'eau atmosphérique : le recteur Ignacio Sánchez (Pontificia Universidad Católica de Chile) en visite à Alto Patache : © Nicole Saffie, sous licence CC BY-NC-SA 2.0.

La **réutilisation sans danger de l'eau** (ou « eau récupérée ») est une alternative fiable aux ressources en eau conventionnelles face aux impacts des changements climatiques (WWAP, 2017). Le principal défi demeure le passage d'une utilisation non planifiée d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées à des pratiques sûres de réutilisation de l'eau. L'utilisation d'eau non traitée ou mal traitée est associée à des risques pour la santé humaine et l'environnement liés à des polluants microbiens et émergents dans l'eau recyclée. Plusieurs pays, en particulier dans les régions arides et semi-arides, utilisent des eaux usées traitées pour l'irrigation. Il a été démontré que la réutilisation de l'eau dans l'agriculture agit comme un tampon contre la pénurie croissante d'eau et les impacts des événements climatiques extrêmes (Drechsel et al., 2015 ; Hettiarachchi et Ardakanian, 2016 ; WWAP, 2017). Avec des sécheresses plus intenses et plus prolongées, un nombre croissant de villes (par exemple aux États-Unis et en Inde) adoptent des programmes directs ou indirects (via la MAR) de réutilisation de l'eau potable pour faire face aux pénuries d'eau récurrentes. En Namibie, la ville de Windhoek met en œuvre avec succès la réutilisation de l'eau potable depuis plus de 50 ans (encadré 5.2). Dans certaines régions d'Europe, l'eau recyclée est de plus en plus considérée comme une ressource alternative. Selon Water Reuse Europe (2018), seulement 2 % des eaux usées traitées sont réutilisées en Europe, mais on s'attend à ce qu'elles augmentent à l'avenir, avec le plus grand potentiel en Espagne et au Portugal.

Dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre. Le dessalement est une option qui permet d'augmenter les réserves d'eau douce en éliminant les sels dissous de l'eau saumâtre ou salée. Selon l'estimation de Jones et al. (2019), il existe 16 000 usines de dessalement opérationnelles dans le monde, produisant environ 95 millions de m³ par jour d'eau dessalée, dont environ 50 % sont produites dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. Cependant, le dessalement est relativement coûteux en raison de la forte consommation d'énergie – même si le coût devient de plus en plus compétitif. La production et l'élimination d'une concentrée hypersaline (« saumure »), un sous-produit du procédé, est un autre défi en termes de coûts et d'impacts environnementaux associés. Étant donné la nature illimitée de l'eau de mer et le coût décroissant des sources d'énergie renouvelables, le dessalement a le potentiel d'améliorer considérablement l'approvisionnement en eau à l'avenir et pourrait même remplacer la demande en eau domestique et industrielle dans la ceinture côtière de 100 km d'ici 2050 (Sood et Smakhtin, 2014).

La récolte de l'humidité atmosphérique, comme l'ensemencement des nuages ou la collecte de l'eau du brouillard dans les régions où le brouillard d'advection est abondant, est pratiquée dans certaines parties de l'Amérique du Sud, du Moyen-Orient et de l'Amérique du Nord. De nombreux endroits où le potentiel de collecte d'eau de brouillard est élevé ont été identifiés dans le monde entier (Klemm, et al., 2012). Contrairement à l'énorme potentiel que représente le dessalement, l'eau de brouillard est principalement d'importance locale, en tant qu'approche à faible coût et à faible entretien (Qadir et al., 2018).

Les aquifères offshore. L'on porte de plus en plus l'attention sur les options en matière d'eaux souterraines en mer. On estime que 0,5 million de km³ d'eau douce/saumâtre se trouve dans les aquifères extracôtiers situés sous les eaux océaniques peu profondes (<500 m) à moins de 100 km du rivage (Post et al., 2013). Il existe de nombreux endroits dans le monde où l'on a observé des eaux souterraines de faible salinité au large des côtes (Person et al., 2017). Post et al. (2013, p. 76) suggèrent cependant que « *les eaux souterraines offshore ne sont pas la réponse aux crises mondiales de l'eau* », mais « *...elles peuvent être soutesés avec d'autres options dans les stratégies à long terme* ».

Transport physique de l'eau douce par la mer. Ces options sont les plus « fictives » à l'heure actuelle, mais les idées et les tentatives de les récolter sont de plus en plus fortes (Rafico, 2014). L'eau peut être transportée depuis les deltas/estuaires des grands fleuves, comme l'Amazone ou le Congo (le total des rejets annuels de ces deux fleuves est de près de 8 000 km³ – soit 20 fois la quantité totale d'eaux usées dans le monde) – par des camions-citernes ou des sacs vers des régions comme Le Cap, qui a presque manqué d'eau pendant la récente sécheresse de 2017–2018 (Schreiber, 2019). Il existe des évaluations de la possibilité de transporter de l'eau depuis des endroits éloignés où l'eau est abondante vers des régions où l'eau est rare, comme l'Afrique du Sud et la Namibie (Valentine, 2017). De même, des idées ont été avancées pour le transport des icebergs – soit en bloc, soit sous forme de « glace pilée » dans des navires-citernes (Ruiz, 2015). Ces options n'existent actuellement que sous forme de concepts en raison de leur coût élevé, de la grande flotte de navires-citernes nécessaire et des pertes importantes calculées.

La production et/ou l'utilisation de certaines des ressources en eau non conventionnelles, comme l'eau dessalée ou les eaux usées, peuvent avoir des répercussions sur l'environnement et/ou des risques pour la santé qui y sont associés. Par conséquent, ces différentes options pour les ressources en eau non conventionnelles nécessitent des évaluations des risques sanitaires et environnementaux et des options d'atténuation pertinentes (Grangier et al., 2012 ; WWAP, 2017 ; Qadir, 2018 ; Jones et al., 2019). Certaines sources non conventionnelles, comme la réutilisation de l'eau, augmentent la résilience aux changements climatiques grâce à la production d'énergie renouvelable, par exemple la récupération d'énergie à partir des eaux usées pendant le processus de traitement (Drechsel et al., 2018).

En résumé, face aux changements climatiques, l'augmentation de l'approvisionnement en eau à l'aide de sources non conventionnelles offre des solutions de rechange pour accroître les réserves d'eau afin de répondre à la demande croissante d'eau, surtout dans les régions et les pays où l'eau est physiquement rare. Actuellement, parmi les ressources en eau non conventionnelles, l'eau recyclée est considérée comme la plus prometteuse, avec un nombre croissant d'applications réussies dans la vie réelle et un marché mondial en expansion pour l'eau recyclée, en particulier pour l'irrigation. Pour accroître la réutilisation des eaux usées en agriculture et dans d'autres secteurs, il faut élaborer et mettre en œuvre une surveillance et une réglementation efficaces afin de surmonter les préoccupations liées aux risques pour l'environnement et la santé humaine. Le traitement d'autres sources d'eau et technologies non conventionnelles continueront probablement de croître au cours des prochaines décennies.

3.3 Options d'atténuation pour la gestion des ressources en eau⁵

3.3.1 Le secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement

L'essentiel des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la gestion de l'eau et à l'assainissement provient soit : 1) de l'énergie utilisée pour alimenter les systèmes, soit : 2) des processus biochimiques impliqués dans le traitement de l'eau et des eaux usées.

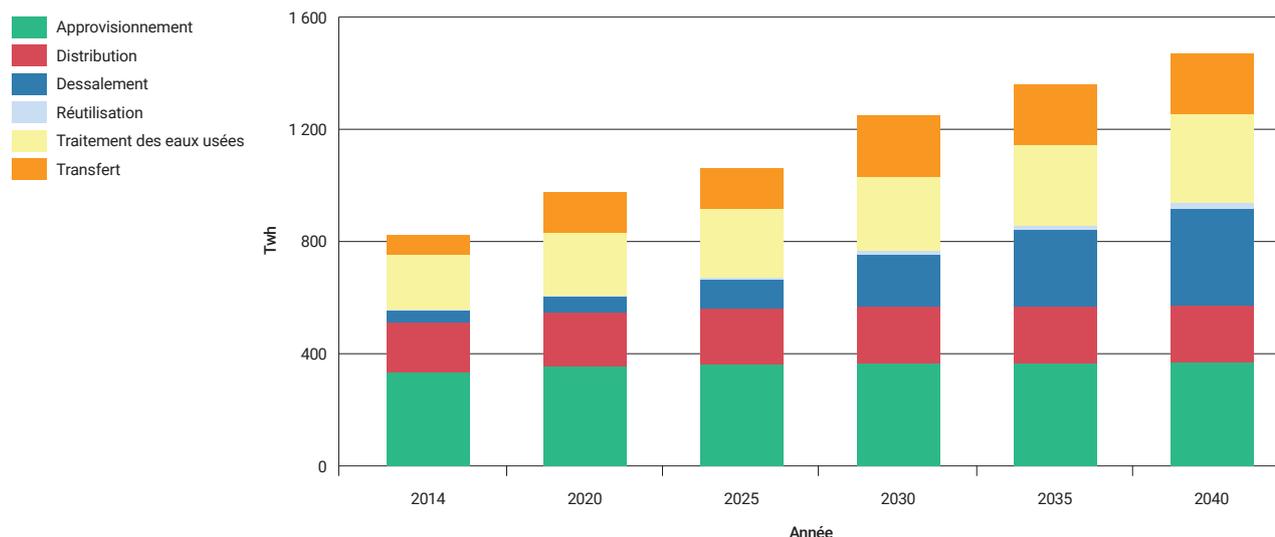
Les services d'eau et d'eaux usées seraient responsables de 3 % à 7 % des émissions de GES (Trommsdorf, 2015), mais ces estimations ne comprennent pas les émissions associées au rejet d'eaux usées non traitées. En effet, les eaux usées non traitées sont une source importante de GES. Étant donné que dans les pays en développement, 80 % à 90 % des eaux usées ne sont ni collectées ni traitées (Corcoran et al., 2010 ; WWAP, 2017), les émissions liées au secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement – et son potentiel à contribuer de manière significative à l'atténuation des changements climatiques – ne devraient pas être négligées.

L'électricité utilisée par le secteur est principalement destinée au captage (40 %), à l'acheminement (25 %) et au traitement (20 %) de l'eau et des eaux usées, ce qui représente environ 4 % de la production mondiale d'électricité. La consommation d'énergie dans le secteur de l'eau devrait doubler jusqu'en 2040, en raison de l'augmentation du dessalement de l'eau de mer (figure 3.2) (AIE, 2016). La consommation d'énergie pour le traitement des eaux usées devrait également augmenter dans les prochaines décennies, ce qui semble inutile puisque, au niveau mondial le potentiel des stations d'épuration à énergie positive augmente rapidement (Freyberg, 2016). L'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la réduction de la consommation et des pertes d'eau inutiles se traduisent toutes deux par une diminution de la consommation d'énergie et donc des émissions de GES. On a estimé que le secteur de l'eau dans le monde pourrait réduire sa consommation d'énergie de 15 % d'ici 2040 (AIE, 2016).

La formation de CH₄ et de N₂O dans les décharges, les égouts à ciel ouvert et les lagunes représentait, selon les estimations, 13 % des émissions mondiales autres que le CO₂ en 2005 (US EPA, 2012). Environ 58 % de ces émissions proviennent des décharges, dont une partie est constituée par l'élimination des boues de traitement des eaux usées (Guo et al., 2012). On s'attend à ce que la contribution des émissions autres que le CO₂ provenant des eaux usées augmente (US EPA, 2012).

⁵ Cette section s'inspire largement d'une version avant-projet du rapport intitulé « Climate and water: prospects for addressing co-benefits through climate finance » (Tänzler and Kramer, 2019).

Figure 3.2 Consommation d'électricité dans le secteur de l'eau, par procédé, 2014–2040



Source : AIE (2018a). Tous droits réservés.

La matière organique dans les eaux usées contient plus d'énergie qu'il n'en faut pour les traiter (Li et al., 2015). L'énergie provenant des eaux usées peut donc être une source importante pour le secteur de l'eau afin de devenir plus efficace sur le plan énergétique. Les usines de traitement centralisées captent la majeure partie du CH_4 en développement et l'utilisent pour la production d'énergie, réduisant ainsi les émissions directes et indirectes liées à l'utilisation de l'énergie. Certaines installations de traitement des eaux usées en Europe et aux États-Unis produisent de l'énergie renouvelable sur place et améliorent l'efficacité énergétique, ce qui a permis de faire des progrès en matière d'énergie nette zéro et de pratiques énergétiques positives (Rothausen et Conway, 2011 ; Maktabifard et al., 2018).

Les eaux usées peuvent être une source de matières premières comme les nutriments ou certains métaux (c'est-à-dire les eaux usées industrielles), ce qui contribue à réduire l'énergie nécessaire à l'extraction de ces matières premières pour les utiliser comme engrais (Wang et al., 2018a).

Ainsi, en augmentant l'efficacité de l'utilisation de l'eau et en réduisant les pertes d'eau, y compris la réutilisation des eaux usées (non traitées ou partiellement traitées) et de leurs constituants, les systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement peuvent non seulement contribuer directement et substantiellement à l'atténuation des GES, mais aussi devenir plus rentables.

En plus des infrastructures de traitement des eaux usées, les réservoirs des barrages sont une source négligée d'émissions de substances autres que le CO_2 (Banque mondiale, 2017b). Les émissions de CH_4 produites par la décomposition des matières organiques dans les réservoirs des barrages peuvent contribuer jusqu'à 1,5 % des émissions mondiales d'équivalent de CO_2 , un chiffre qui pourrait augmenter en raison de la construction de nouveaux barrages dans certaines régions du monde (Zarfl et al., 2016) et de l'érosion croissante due au changement d'affectation des terres et à des pratiques de gestion des terres inadaptées. De plus, l'augmentation des rejets d'eaux usées et des eaux de ruissellement riches en engrais peut entraîner une augmentation des niveaux d'eutrophisation. On estime que les émissions de méthane résultant des lacs et des réservoirs augmenteront de 30 à 90 % d'ici 2100 (Beaulieu et al., 2019).

L'utilisation innovante des infrastructures d'adduction d'eau peut également être une source énergétique. Par exemple, les canalisations d'eau potable entraînées par gravité peuvent être équipées de turbines pour produire de l'électricité. L'eau potable de Vienne, par exemple, provient de sources de montagne par de deux canalisations longue distance. Les turbines qui sont installées, en plus de produire de l'électricité, réduisent la pression de l'eau à des niveaux adaptés aux infrastructures d'adduction d'eau potable de la ville (WWAP, 2014).



3.3.2 Écosystèmes liés à l'eau

Les zones humides⁶, y compris les tourbières, abritent les plus grands stocks de carbone parmi les écosystèmes terrestres et stockent deux fois plus de carbone que les forêts (Moomaw et al., 2018). Les zones humides sont cependant soumises à de fortes pressions, et le taux de perte des zones humides est trois fois plus élevé que celui des forêts (Convention de Ramsar sur les zones humides, 2018). Un milieu humide mal géré peut devenir une source de GES plutôt qu'un puits. La tourbière, par exemple, est constituée d'une épaisse couche de tourbe, un stock de carbone qui s'est formé au cours de milliers d'années. Le drainage des tourbières à des fins agricoles ou autres entraîne la décomposition de la tourbe, libérant ainsi du CO₂ et d'autres GES dans l'atmosphère (voir les chapitres 6 et 9). Le stock de carbone est réduit en conséquence. En 2017, environ 15 % des tourbières mondiales étaient considérées comme dégradées ou détruites, l'agriculture en étant le principal responsable. Les tourbières brûlées et drainées représentent près de 5 % des émissions mondiales de CO₂ causées par les humains (Crump, 2017). De plus, les zones humides sont sensibles au réchauffement climatique ; des climats plus chauds pourraient réduire le rythme auquel les tourbières accumulent du carbone à long terme (Gallego-Sala et al., 2018).

Griscom et al. (2017) suggèrent qu'environ un tiers de l'atténuation des GES jusqu'en 2030 peut être atteint par une atténuation basée sur les écosystèmes, à laquelle les zones humides peuvent contribuer à 14 %. Compte tenu du fait que les zones humides offrent de multiples avantages connexes – notamment l'atténuation des inondations et des sécheresses, l'épuration de l'eau et la biodiversité – la conservation des zones humides est une mesure d'atténuation importante.

⁶ Une zone humide est un écosystème distinct qui est inondé par l'eau, de façon permanente ou saisonnière, où les processus sans oxygène prédominent. Les principaux types de zones humides sont les marécages, les marais, les tourbières et les marécages, y compris les mangroves et les prairies de graminées marines (Keddy, 2010).



Encadré 3.2 50 ans de récupération directe de l'eau à Windhoek, Namibie

Depuis plus de 50 ans, la ville de Windhoek récupère directement l'eau potable des effluents secondaires. La récupération directe de l'eau potable s'est avérée être un moyen sûr et économiquement viable d'apporter un complément aux ressources en eau limitées de Windhoek et de surmonter les effets des sécheresses récurrentes (Du Pisani et al., 2018). L'approvisionnement actuel en eau potable des quelque 400 000 habitants de la ville de Windhoek représente 25 à 30 % de l'eau récupérée (Lahnsteiner et Lempert, 2007).

En l'absence de lois, de règlements, de politiques ou de lignes directrices en vigueur sur le sujet, la ville de Windhoek a décidé d'utiliser une approche axée sur la sécurité des consommateurs lors de la mise en œuvre de la récupération directe des eaux potables (Law et al., 2015). Cette expérience a entraîné une acceptation et une confiance envers cette source non conventionnelle d'eau potable (Boucher et al., 2010).

La capacité de la première usine de récupération mise en service en 1968 était de 4 800 m³/jour, laquelle a été adaptée au fil des ans en fonction des procédés appliqués. Sa capacité a ensuite été portée à 7 200 m³/jour (1986), puis à 14 400 m³/jour (1994). La plus récente usine de récupération, mise en service en 2002, a une capacité de 2 000 m³/jour (Honer, 2019).

Contribution d'AquaFed.

4

Événements extrêmes liés à l'eau et gestion des risques



Le présent chapitre est consacré aux liens entre l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des risques de catastrophe, en soulignant les possibilités de mettre en place des systèmes plus résilients grâce à une combinaison de mesures « dures » et « douces ».

4.1 Événements extrêmes relatifs au climat et à l'eau comme défis en matière de gestion de l'eau

Les changements climatiques se manifestent, entre autres, par l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des événements climatiques, tels que les ondes de chaleur, les précipitations inédites, les orages et les ondes de tempête provoqués par des cyclones, des typhons ou des ouragans, qui, à leur tour, rendent les sociétés de plus en plus vulnérables aux catastrophes liées à l'eau. Environ 74 % de toutes les catastrophes naturelles survenues entre 2001 et 2018 étaient liées à l'eau et, au cours des 20 dernières années, le nombre total de décès provoqués uniquement par des inondations et des sécheresses a dépassé 166 000, tandis que les inondations et les sécheresses ont touché plus de 3 milliards de personnes et ont causé des dommages économiques totaux de près de 700 milliards de dollars des EU (EM-DAT, 2019)⁷. Le nombre de décès, de personnes touchées et de pertes économiques varie considérablement d'une année à l'autre et d'un continent à l'autre, l'Asie et l'Afrique étant les plus touchées, tous comptes faits (figures 4.1, 4.2 et 4.3).

Les impacts actuels et les risques prévus associés aux événements extrêmes exigent des solutions durables pour l'adaptation aux changements climatiques et la RRC

Les changements climatiques ont rendu les événements extrêmes plus graves en modifiant le moment, l'intensité et la durée de leur apparition (Blöschl et al., 2017). Par exemple, dans certains cas, elle a provoqué des sécheresses pendant les mois d'hiver, ce qui peut avoir des répercussions beaucoup plus importantes sur les systèmes agricoles et de ressources en eau que pendant l'été (FAO, 2018b). Les impacts actuels et les risques prévus associés aux événements extrêmes exigent des solutions durables pour l'adaptation aux changements climatiques et la RRC. L'adaptation aux changements climatiques et la RRC sont liées par l'objectif commun de réduire les impacts des changements climatiques, de minimiser les conséquences des événements extrêmes lorsqu'ils se produisent et d'accroître la résilience aux catastrophes, en particulier parmi les communautés vulnérables des pays en développement et des PEID. La protection des droits de l'homme lors d'événements extrêmes est essentielle, car ces événements peuvent déclencher des instabilités politiques, sociales et économiques dans les pays, dégradant la santé, les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire et hydrique. Le Cadre de Sendai actuellement en vigueur (voir la section 2.2.3) est un effort international d'une importance capitale qui vise à rendre le monde beaucoup plus sûr en 2030, grâce à sept cibles et quatre priorités conçues en temps opportun pour la RRC (DNUDR, 2015a).

⁷ La base de données des événements d'urgence du CRED (EM-DAT) est utilisée ici pour fournir des statistiques sur les catastrophes mondiales, continentales, nationales ou régionales.

Figure 4.1 Répartition spatiale des catastrophes liées à l'eau (sécheresses, inondations, glissements de terrain et tempêtes), 2001–2018

Nombre de catastrophes liées à l'eau

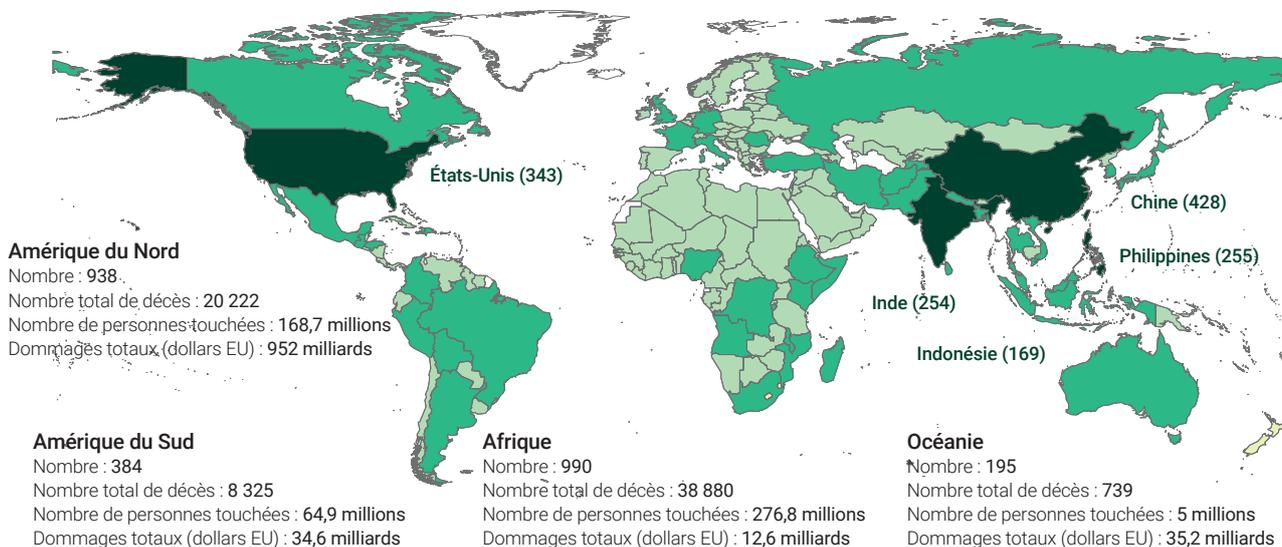
- 1–31
- 32–169
- 170–428

Europe

Nombre : 655
 Nombre total de décès : 2 910
 Nombre de personnes touchées : 9,3 millions
 Dommages totaux (dollars EU) : 147,4 milliards

Asie

Nombre : 2 206
 Nombre total de décès : 255 438
 Nombre de personnes touchées : 2,9 milliards
 Dommages totaux (dollars EU) : 557,5 milliards



Source : Élaboré par l'UNU-INWEH sur la base des données EM-DAT.

Figure 4.2 Répartition spatiale des inondations, 2001–2018

Nombre d'inondations

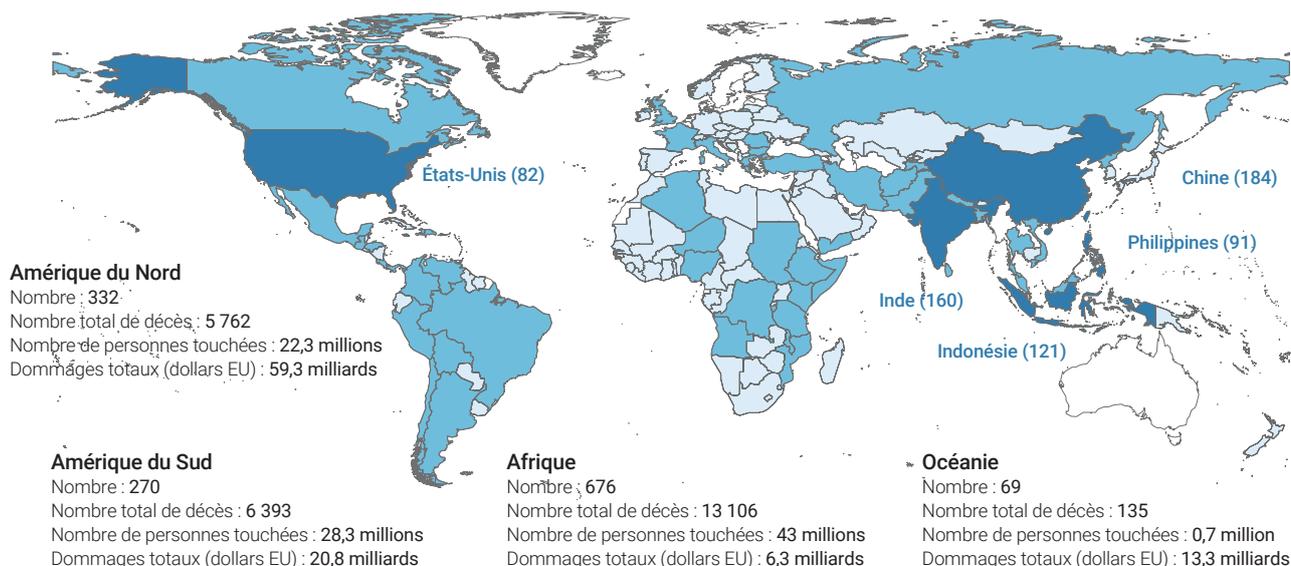
- 1–18
- 19–66
- 67–184

Europe

Nombre : 397
 Nombre total de décès : 2 008
 Nombre de personnes touchées : 6,8 millions
 Dommages totaux (dollars EU) : 86,4 milliards

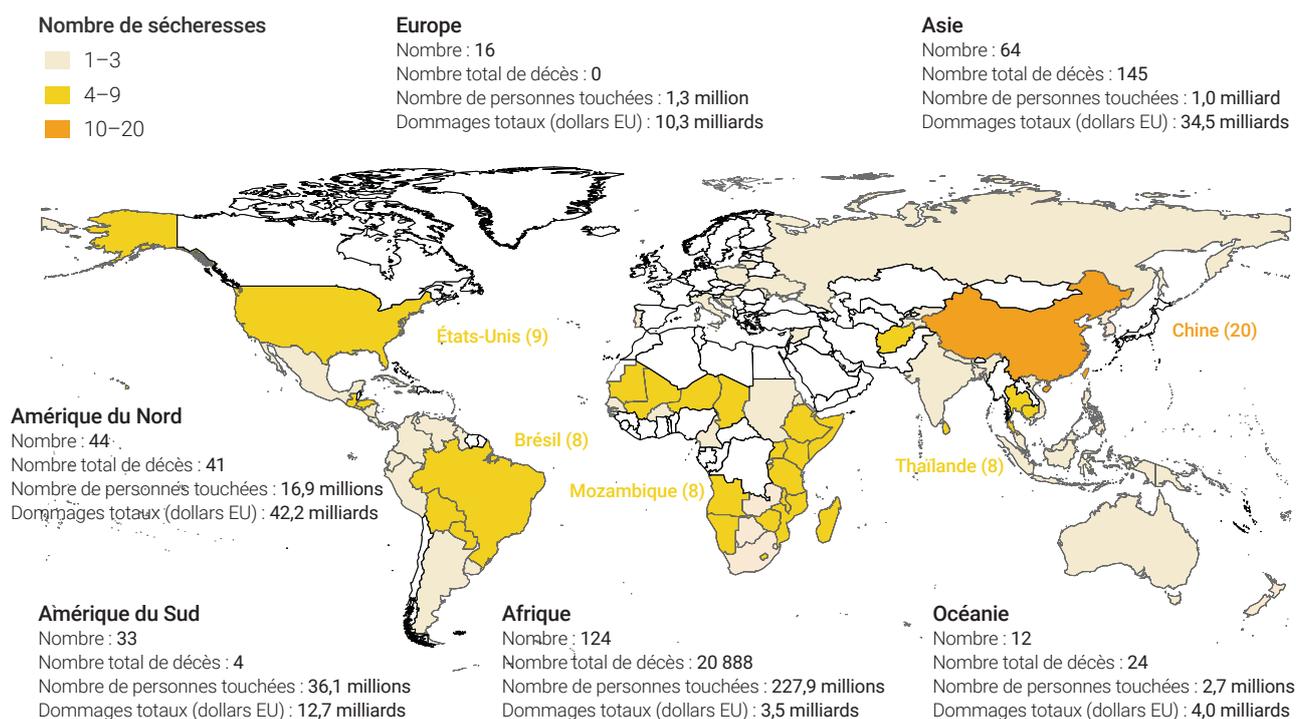
Asie

Nombre : 1 158
 Nombre total de décès : 66 078
 Nombre de personnes touchées : 1,4 milliards
 Dommages totaux (dollars EU) : 309,4 milliards



Source : Élaboré par l'UNU-INWEH sur la base des données EM-DAT.

Figure 4.3 Répartition spatiale des sécheresses, 2001–2018



Source : Élaboré par l'UNU-INWEH sur la base des données EM-DAT.

4.2 Mesures dures et douces en matière d'adaptation aux changements climatiques et de réduction des risques de catastrophe

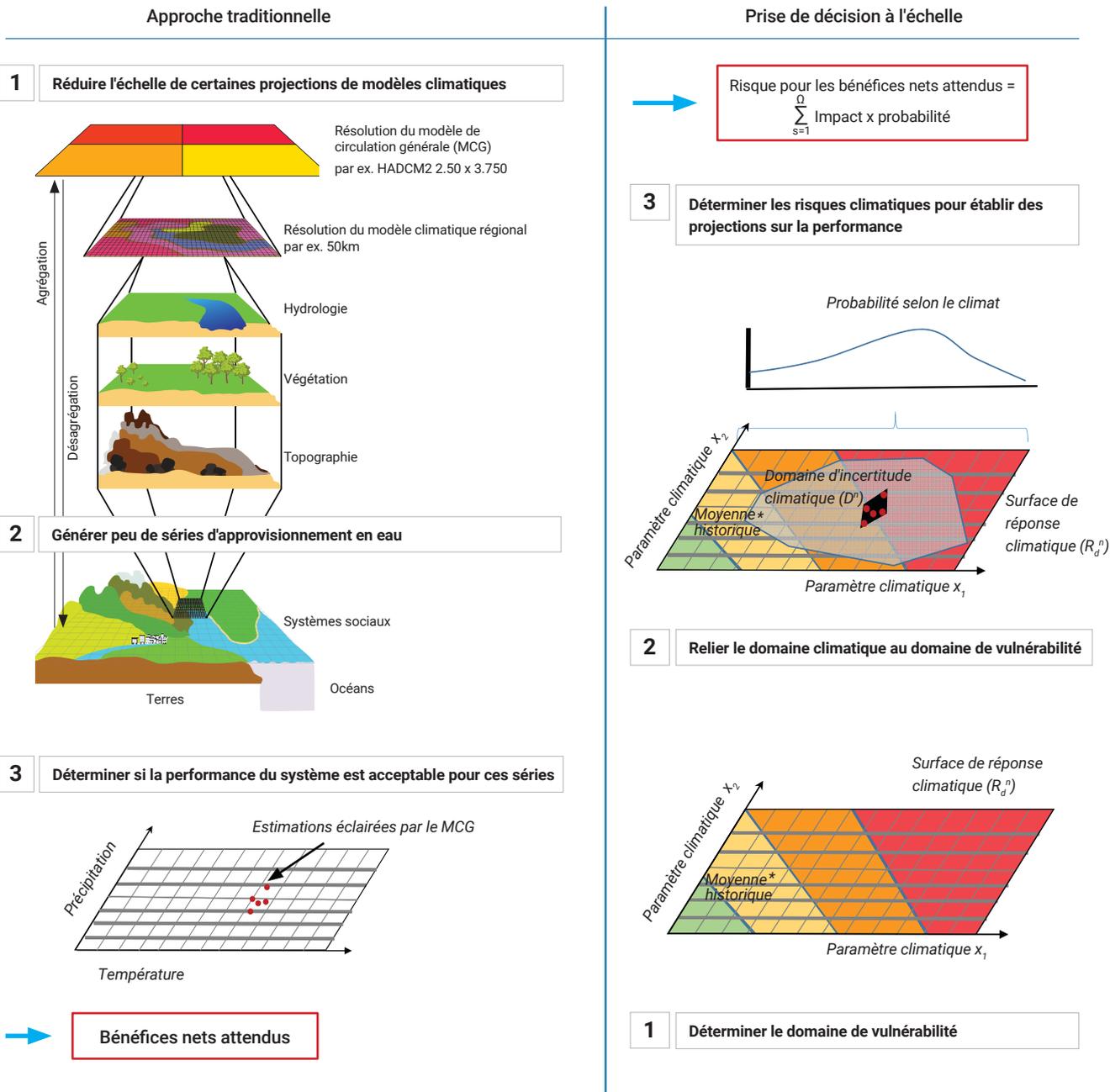
La gamme des stratégies d'adaptation aux changements climatiques et de réduction des risques de catastrophe (RRC) disponibles qui peuvent aider à surmonter les impacts des extrêmes est diverse et comprend des approches dures (structurelles) et douces (instruments politiques). Parmi les exemples de mesures concrètes, on peut citer le renforcement du stockage de l'eau, la mise en place d'infrastructures à l'épreuve des changements climatiques et l'amélioration de la résistance des cultures par l'introduction de variétés de cultures résistantes aux inondations et à la sécheresse. Parmi les exemples de mesures douces, citons l'assurance contre les inondations et la sécheresse, les systèmes de prévision et d'alerte précoce, l'aménagement du territoire et le renforcement des capacités connexes (éducation et sensibilisation) dans tous les domaines susmentionnés. Les mesures dures et douces vont souvent de pair. Par exemple, la mise en œuvre de mesures structurelles de protection contre les inondations, ou l'amélioration des systèmes agricoles comme la diversification des cultures ou l'introduction de variétés de cultures résistantes aux aléas (c'est-à-dire les deux, essentiellement des mesures dures), nécessitent des environnements politiques favorables (c'est-à-dire des mesures douces sous forme de soutien politique et institutionnel).

4.2.1 Mesures dures

Infrastructures résistantes aux changements climatiques

La résistance aux changements climatiques fait référence à la prise en compte explicite et à l'internalisation des risques et des opportunités que les différents scénarios de changements climatiques sont susceptibles d'impliquer pour la conception, l'exploitation et l'entretien des infrastructures, y compris les infrastructures d'adduction d'eau en cas d'événements extrêmes (PNUD, 2011). La réalisation d'une évaluation des risques de catastrophe est la première étape

Figure 4.4 Évaluations descendante et ascendante des risques liés au climat



Source : García et al. (2014, fig. 3.2, p. 19). © Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21066. Licence : CC BY 3.0 IGO.

Clause de non-responsabilité : Cette traduction n'a été réalisée par aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale et ne doit pas être considérée comme une traduction officielle du Groupe de la Banque mondiale. Aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale ne peut être tenue responsable du contenu de cette traduction ou des erreurs qui s'y trouveraient.

essentielle d'une stratégie de RRC et comprend normalement trois éléments : i) l'ampleur de l'aléa exprimée en termes de fréquence et de gravité (profondeur, étendue, durée et vitesses relatives) ; iii) l'exposition des activités humaines à l'aléa ; et iii) la vulnérabilité des éléments à risque (APFM, 2007). Les évaluations climatiques ascendantes examinent l'exposition, la vulnérabilité des individus et/ou des collectivités à la variabilité du climat et la capacité d'adaptation pour décrire les risques (García et al., 2014). En revanche, les approches descendantes s'appuient sur des modèles climatiques pour prédire un avenir possible et construire leurs réponses sur la base des résultats de ces modèles (figure 4.4). Bien que les deux approches puissent être utilisées de façon complémentaire, une seule est souvent utilisée.

Un document, qui est fourni par l'UNDRR (2017), donne des orientations générales pour la réalisation d'évaluations nationales des risques de catastrophe et l'établissement d'une compréhension approfondie des systèmes de risque.

Les approches intelligentes et adaptables en matière d'infrastructures liées à l'eau, comme les barrages, les dérivations, les levées et l'aménagement de systèmes de drainage, tiennent compte du fait que le passé est un guide peu fiable pour faire face aux événements extrêmes actuels et futurs, en raison de l'incertitude provoqués par les changements climatiques. Parmi les infrastructures liées à l'eau qui doivent être protégées contre les changements climatiques figurent les barrages. Si le stockage de l'eau pour les périodes de pénurie est souvent la principale préoccupation, l'augmentation de la capacité d'absorption des crues peut être tout aussi importante – avec des implications de gestion potentiellement conflictuelles pour les deux fonctions. Pour mieux faire face à la variabilité croissante des débits des rivières, diverses mesures peuvent être mises en œuvre, allant de l'abaissement général du niveau des réservoirs à l'augmentation des capacités de rétention des crues (Sieber et Socher, 2010), en passant par l'augmentation de la capacité (technique) de prélèvement d'eau dans les barrages. Cela permet d'abaisser plus efficacement les niveaux d'eau en cas d'inondation anticipée. L'ajout de structures de sortie à diverses profondeurs améliore également les possibilités de les utiliser pour la gestion de la qualité de l'eau en prélevant, dans des conditions stratifiées, l'eau des couches d'eau problématiques (Klapper, 2003). Ces mesures devraient être accompagnées de mesures dans le bassin de drainage en amont des réservoirs.

Solutions fondées sur la nature

« Les solutions fondées sur la nature (SfN) sont inspirées et soutenues par la nature et utilisent, ou imitent, les processus naturels, afin de contribuer à une meilleure gestion de l'eau » (WWAP/UN-Water, 2018, p. 2). Les SfN comprennent une utilisation adaptée des terres pour augmenter les capacités de stockage d'eau dans le sous-sol, prévenir l'érosion et les débits excessifs en surface, mais aussi des mesures techniques telles que la construction de pré-barrages (Paul et Pütz, 2008). L'adaptation écosystémique est particulièrement pertinente pour l'adaptation aux changements climatiques et la réduction des risques de catastrophes, car elle utilise la biodiversité et les services écosystémiques dans le cadre d'une stratégie d'adaptation globale visant à surmonter les effets néfastes des changements climatiques et des événements extrêmes (UICN, 2017). L'adaptation écosystémique pourrait être mise en œuvre par le maintien et la restauration d'écosystèmes à un bon état écologique par le maintien et la restauration des écosystèmes dans un bon état écologique, en utilisant les écosystèmes comme des paysages naturellement « façonnés » pour contribuer à la RRC dans le contexte des changements climatiques, et en intégrant les mesures d'adaptation aux changements climatiques dans les zones humides et autres stratégies et plans de gestion des écosystèmes et vice versa (CEE/ONU, 2018).

4.2.2 Mesures douces

Systèmes de prévision et d'alerte précoce

La sensibilisation et la préparation aux catastrophes sont des composantes fondamentales de la résilience, de la réduction des risques de catastrophe et de la réponse aux catastrophes liées à l'eau. Les systèmes d'alerte précoce jouent un rôle important dans la réduction des risques de catastrophe, en particulier pour évaluer les risques imminents d'inondation et de sécheresse, améliorer les stratégies de prise de décision, améliorer la préparation des communautés et atténuer les dommages causés par les événements extrêmes grâce à une action efficace et opportune. L'UNDRR (s.d.) définit les systèmes d'alerte précoce comme « un système intégré de surveillance, de prévision et de prévision des aléas, d'évaluation des risques de catastrophe, de communication et d'activités de préparation ; des systèmes et des processus qui permettent aux individus, aux communautés, aux gouvernements, aux entreprises et autres de prendre des mesures en temps voulu pour réduire les risques de catastrophe avant que des événements dangereux ne se produisent ».

Grâce aux améliorations majeures apportées au cours des dernières décennies aux outils de prévision et d'anticipation liés au climat et au temps, les communautés à risque peuvent à l'heure actuelle souvent disposer d'un délai suffisant pour réagir à des catastrophes imminentes (OMM, 2015a ; 2015b ;

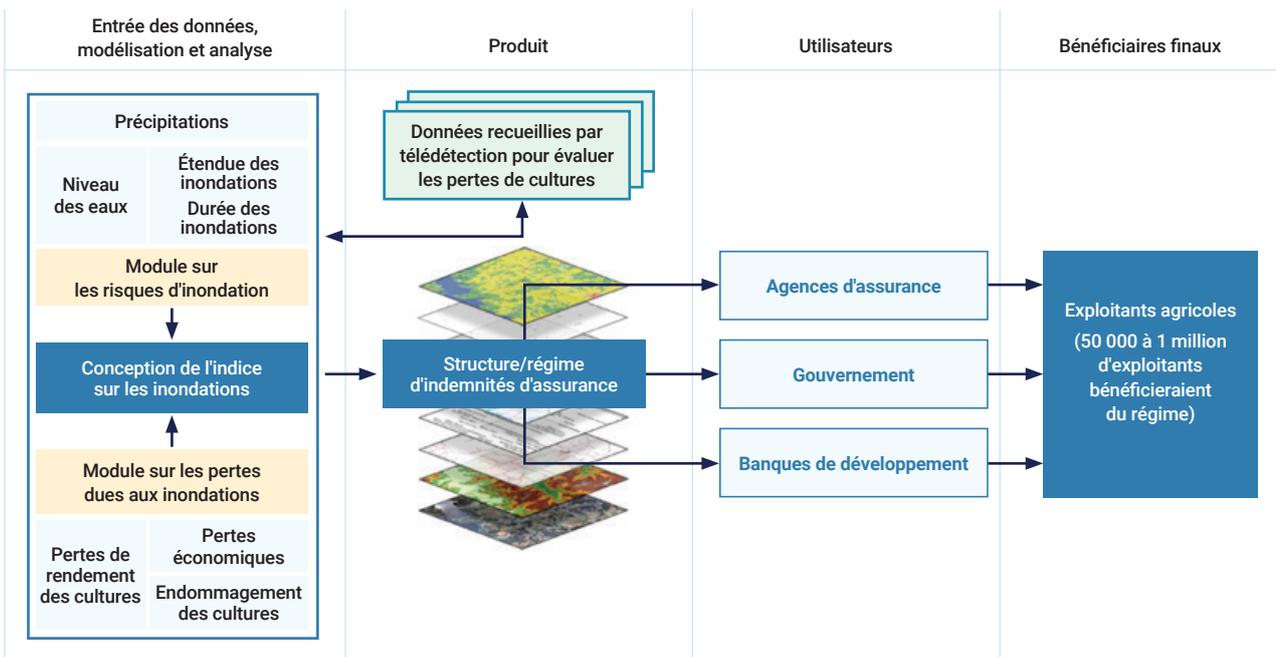
2016). Les échelles de temps auxquelles les prévisions sont fournies sont souvent divisées en trois catégories : les prévisions immédiates, avec des délais de l'ordre de 0 à 6 heures ; les prévisions à court terme (0 à 3 jours) ; les prévisions à moyen terme (3 à 15 jours) ; et les prévisions à plus long terme, de la sous-saisonnière (1 à 3 mois) à la saisonnière (3 à 6 mois) (Golding, 2009). Certes, des échelles de temps plus petites permettent d'obtenir une plus grande précision, mais le choix de l'échelle de temps la plus appropriée est souvent concomitant avec les processus décisionnels que les prévisions fournies visent à éclairer. Dans l'exemple des interventions éclair en cas de crue éclair, les prévisions immédiates et à court terme constituent l'échelle de temps appropriée, tandis que les processus décisionnels définis dans les plans de gestion de la sécheresse peuvent être appuyés par des prévisions à l'échelle sous-saisonnière à saisonnière.

L'allongement des délais peut contribuer à améliorer l'efficacité des systèmes d'alerte précoce, mais il doit être complété par une communication claire, ainsi que par une collaboration mutuelle et un engagement avec les communautés à risque (Parker et Priest, 2012 ; Cools et al., 2016), en particulier dans les bassins hydrographiques transfrontaliers où la coordination, la coopération et le partage des données sont parfois limités en raison de conflits politiques et de la faiblesse des gouvernances au sein des pays et entre eux (Bakker, 2009a ; 2009b). Les méthodes de communication modernes, telles que les médias sociaux et les services de téléphonie mobile, offrent des possibilités importantes pour aider à améliorer l'efficacité de la communication et de l'alerte précoce (Cumiskey et al., 2015) (voir chapitre 13). On s'efforce également davantage d'aller au-delà des informations sur les dangers uniquement fournies traditionnellement par les systèmes d'alerte précoce, par la mise au point des prévisions fondées sur les impacts (OMM, 2015b). Plutôt que de fournir uniquement des prévisions de variables hydrométéorologiques, les prévisions basées sur les impacts visent également à fournir des informations claires et spécifiques aux secteurs sur les impacts prévus des événements extrêmes. De même, les initiatives de prévision basées sur l'action telles que le financement fondé sur des prévisions (Coughlan de Perez et al., 2016) sont utilisées pour orienter les interventions humanitaires. Le développement économique et social durable exige que les systèmes de prédiction, de prévision et d'alerte pour les communautés à risque soient continuellement élaborés, examinés et perfectionnés, ce qui exige en retour une combinaison optimale de données, d'outils de prévision et de spécialistes bien formés et doit être complété par des mesures précises de gestion des risques (Leonard et al., 2007). Il est important d'intégrer la problématique hommes-femmes dans les systèmes d'alerte précoce, car les femmes et les enfants auraient 14 fois plus de chances de mourir pendant une catastrophe que les hommes (PNUD, 2013). Ils jouent également un rôle central dans la préparation et les réponses aux situations d'urgence ainsi que dans la RRC (UNDRR, 2015b), à condition d'être habilités à le faire.

Les services de prévision et d'alerte opérationnels sont en cours de mise au point depuis plusieurs décennies, et fournissent de nombreux exemples (Pappenberger et al., 2015 ; Adams et Pagano, 2016 ; Smith et al., 2017). Il s'agit entre autres de services fournis au niveau du bassin et au niveau national (un aperçu de plusieurs de ces systèmes est fourni dans Adams et Pagano, 2016) jusqu'au continental, voire mondial (Emmertson et al., 2016). Toutefois, on ne dispose actuellement pas d'une image cohérente à l'échelle mondiale en ce qui concerne la disponibilité et l'état des systèmes opérationnels d'alerte précoce aux inondations, en particulier en ce qui concerne la réalisation des objectifs fixés dans les programmes mondiaux tels que le Cadre de Sendai et les Objectifs de développement durable (ODD) (Perera et al., 2019). Il existe également de nombreux problèmes techniques, financiers, institutionnels et sociaux, notamment des réseaux hydrométéorologiques inadéquats, le manque de compétences techniques et de main-d'œuvre pour effectuer des prévisions, et le manque de connaissances sur l'efficacité opérationnelle des systèmes d'alerte précoce, entre autres.

Les systèmes de surveillance et d'alerte précoce de la sécheresse sont tout aussi divers et font face aux mêmes difficultés. Les systèmes d'alerte précoce à la sécheresse, tels que les perspectives saisonnières basées, par exemple, sur les indices El Niño/oscillation australe (ENSO), peuvent être utilisés pour fournir une alerte précoce aux conditions de sécheresse, ou aux conditions de sécheresse continue, qui à leur tour permettent une prise de décision proactive en matière de gestion de la sécheresse, comme le déstockage des animaux, la réduction de la superficie plantée ou le semis de différentes cultures. La prévision de la sécheresse saisonnière a donné de bons résultats en Asie

Figure 4.5 Cadre conceptuel d'un régime d'assurance contre les inondations fondé sur des indices, de la conception à la mise en œuvre



Source : Amarnath (2017).

du Sud-Est et dans l'ouest de l'Amérique du Sud (en grande partie à cause de leur proximité avec l'océan Pacifique, d'où provient l'ENSO). Cependant, les prévisions de sécheresse saisonnière en Afrique restent moins précises. Il existe de nombreux exemples de systèmes nationaux et régionaux de surveillance de la sécheresse en service (OMM/GWP, 2016).

Les systèmes de surveillance des sécheresses et des inondations sont une composante importante de la réduction des risques

Au sein de la communauté de la gestion de la sécheresse, on s'est attaché à promouvoir une approche à trois piliers de la gestion de la sécheresse, comprenant : i) des systèmes complets de surveillance et d'alerte précoce à la sécheresse ; ii) des évaluations de la vulnérabilité et de l'impact, et ; iii) des mesures appropriées d'atténuation des risques de sécheresse et d'intervention (Pischke et Stefanski, 2018). L'approche souligne l'importance qu'il y a à interconnecter ces trois piliers par l'engagement des parties prenantes afin d'élaborer et de mettre en œuvre des plans ou des politiques de gestion proactive de la sécheresse.

Les systèmes de surveillance des sécheresses et des inondations sont une composante importante de la réduction des risques. Cependant, elles doivent être intégrées dans une stratégie globale de gestion des sécheresses/inondations, qui s'appuie sur une compréhension des personnes et des éléments à risque, et des raisons de ces risques, tout en identifiant les mesures appropriées pour réduire les risques ainsi que les moyens de réagir en fonction d'un seuil fixé. Des orientations dans le choix des mesures ont été élaborées au sein de la communauté de la gestion des crues (APFM, 2013a ; 2013b).

Assurance contre l'inondation et la sécheresse

L'amélioration de l'accessibilité à l'assurance contre les risques climatiques permet aux communautés d'améliorer leur résilience aux catastrophes et joue un rôle important dans le soutien au relèvement après des événements extrêmes, tels que les inondations et les sécheresses, en payant des indemnités en temps opportun. L'assurance peut soutenir la préparation et la gestion des catastrophes si elle s'accompagne d'exigences ou d'incitations à prendre des mesures préventives, constituant ainsi un élément important d'une stratégie de RRC rationnelle (UNDRR, 2017).

L'assurance fixe un seuil minimum pour un niveau de risque acceptable en établissant une estimation du coût du risque et en fixant des normes de prévention des risques. Le renforcement de la résilience est encouragé, car la diminution des risques se traduit par une baisse des primes (GWP, 2018a). Un régime d'assurance contre les inondations basé sur des indices (figure 4.5) peut simplifier la prise de décision et accélérer le versement des indemnités d'assurance aux agriculteurs pour les cultures ruinées par les inondations. C'est grâce à une approche de haute technologie qui s'est avérée plus efficace que les évaluations classiques sur le terrain (Amarnath et al., 2017 ; Amarnath et Sikka, 2018).

En outre, les compagnies d'assurance peuvent également mobiliser des financements importants pour la RRC par des investissements en capital dans des mesures de renforcement de la résilience. Dans l'ensemble, l'assurance peut aider à mobiliser des financements extérieurs supplémentaires parce que le risque économique lié aux catastrophes est plus faible. Une autre possibilité dans le contexte des mécanismes de transfert de risque est le développement d'obligations de résilience, qui encouragent les investissements dans des mesures qui renforcent la résilience (Hermann et al., 2016).

Urbanisme

L'urbanisme est l'une des mesures douces/non structurelles qui offrent d'excellentes possibilités de RRC et d'adaptation aux changements climatiques. Par exemple, il est possible d'accroître la résilience aux risques d'inondation en développant des systèmes de drainage urbain qui sont intégrés dans la conception des infrastructures urbaines afin de fournir des espaces de canalisation des eaux en cas d'inondation. La ville agit donc comme une « éponge », limitant les poussées et libérant l'eau de pluie comme une ressource (Liu et al., 2016). Le Programme Delta adopté par le gouvernement néerlandais pour assurer la protection des Pays-Bas contre les inondations (van Herk et al., 2013 ; Gersonius et al., 2016) et le bassin de rétention polyvalent du fleuve Tsurumi au Japon (Ikeuchi, 2012), qui utilise des espaces normalement utilisés pour les parcs et les stades comme zone de rétention des eaux de crue, sont deux exemples d'intégration réussie de la RRC dans la planification urbaine.

Planification d'urgence

L'élaboration d'un plan d'urgence en cas d'inondation pour se préparer aux catastrophes accroît la capacité des agents chargés d'intervenir en cas de catastrophe et renforce la résilience locale. Un des outils potentiels pour réaliser ces objectifs est la « planification d'urgence en cas d'inondation fondée sur des données probantes », qui est basée sur des approches scientifiques telles que la simulation d'inondation et l'évaluation quantitative des risques. Elle s'effectue en six étapes : i) compréhension des conditions actuelles ; ii) identification des risques par une simulation d'inondation ; iii) analyse des impacts ; iv) élaboration d'une stratégie d'intervention ; v) élaboration d'un plan d'urgence et ; vi) partage du plan. Cet outil, qui est conçu pour être applicable dans toute zone inondable, a été testé dans l'île de Luzon aux Philippines (Ohara et al., 2018).

4.3 Méthodes de planification et d'évaluation pour la réduction des risques de catastrophe

Pour réduire les risques de catastrophes liées à l'eau dans le contexte des changements climatiques, il est nécessaire d'intégrer la RRC dans différentes politiques et plans sectoriels (Birkmann et Von Teichman ; 2010 ; Reinmar, et al., 2018). Ce processus d'intégration comprend l'évaluation des implications des catastrophes et des changements climatiques sur toute action de développement planifiée dans tous les domaines et secteurs thématiques à tous les niveaux. Il nécessite également l'identification des instruments juridiques et de politique sectorielle existants, qui tiennent déjà compte des mesures de RRC. L'implication des parties prenantes est essentielle à toutes les étapes de l'élaboration et de la mise en œuvre des stratégies de RRC. Il est important d'identifier les parties prenantes et leurs responsabilités dans la RRC, de faciliter leur implication (différents secteurs, y compris les collectivités locales) en leur fournissant les informations pertinentes, et de renforcer les capacités des parties prenantes pour les

rendre mieux préparées aux situations d'urgence. La prise en compte systématique des questions relatives à l'égalité entre les sexes devrait être un élément essentiel dans les stratégies de RRC. Les aspects de la RRC relatifs au genre dans le contexte des changements climatiques sont bien exprimés dans la Recommandation générale 37 du Comité pour l'élimination de la discrimination à l'égard des femmes (CEDAW, 2018).

Une évaluation de la RRC au niveau du bassin hydrographique transfrontalier offre des possibilités d'évaluer les risques les plus graves auxquels est confronté l'ensemble du bassin et de favoriser les efforts conjoints des pays riverains. La prise en compte des catastrophes au niveau du bassin hydrographique élargit l'espace de décision et élargit l'éventail des solutions possibles (CEE-ONU, 2009 ; 2015). Les solutions aux catastrophes transfrontières liées à l'eau qui émanent de la consultation et de l'action conjointe entre les pays riverains peuvent aider à obtenir des avantages mutuels (par exemple, partage des coûts et des données, systèmes communs d'alerte précoce). Elle rend également la préparation plus efficace et aide à éviter les mesures unilatérales qui peuvent avoir des répercussions négatives sur les autres pays riverains. Des approches et des outils destinés aux décideurs et aux praticiens sur la façon de faire face aux catastrophes liées à l'eau dans le cadre des changements climatiques dans les bassins hydrographiques transfrontaliers sont présentés dans le document CEE/UNDRR (2018).

4.4 Opportunités

On assiste à l'émergence de nouvelles connaissances et approches visant à construire des sociétés résilientes et à maximiser les synergies entre l'adaptation aux changements climatiques et la RRC (Birkmann et Von Teichman, 2010 ; Reinmar, et al., 2018) (voir le chapitre 13). L'intelligence artificielle (IA), les métadonnées, les modèles climatiques et hydrologiques sophistiqués, les technologies avancées de télédétection, les SfN et les médias sociaux peuvent tous renforcer les programmes d'adaptation aux changements climatiques au niveau mondial et de RRC. L'IA et l'apprentissage machine ont le potentiel d'améliorer considérablement les efforts de surveillance de l'environnement, de prévision des inondations et de communication des catastrophes (Sermet et Demir, 2018). Les flux de données des médias sociaux peuvent fournir des renseignements essentiels pour les endroits non jaugés dans le cadre de la surveillance des inondations (Wang et al., 2018b ; Sit et al., 2019). Les systèmes d'aide à la décision (Demir et al., 2018 ; Newman et al., 2018b) renforcés par des approches de jeux sérieux peuvent faciliter la prise de décision participative dans l'atténuation de risques multiples (Meera et al., 2016 ; Carson et al., 2018). Les techniques émergentes peuvent ne pas remplacer complètement les mesures traditionnelles de RRC, mais elles peuvent compléter ces dernières pour accroître la capacité à faire face aux catastrophes liées à l'eau (Gan et al., 2016).

Il faut améliorer la coordination interagences en matière de gestion des ressources en eau et des risques de catastrophe, en particulier dans les bassins hydrographiques transfrontaliers où elle reste fragmentée dans la majeure partie du monde

Pour optimiser les avantages de ces outils novateurs, il faut combler (ou, du moins, réduire) l'écart entre les connaissances scientifiques et les mesures prises par les décideurs et les praticiens. Il faut améliorer la coordination interagences en matière de gestion des ressources en eau et des risques de catastrophe, en particulier dans les bassins hydrographiques transfrontaliers où elle reste fragmentée dans la majeure partie du monde. Il est également important que ces développements soient liés à une politique et une planification proactives. Les organismes gouvernementaux ne doivent pas seulement prévoir les événements et en connaître l'étendue et l'intensité lorsqu'ils se produisent. Ils devraient avoir élaboré et convenu de plans d'action pour réagir en temps opportun et de façon appropriée afin de s'assurer que les coûts des impacts sont gérés et que les collectivités et les entreprises sont en mesure de revenir à la normale le plus tôt possible.

5

Impacts sur la santé humaine liés à l'eau, à l'assainissement et aux changements climatiques



Des enfants Jakun apprennent à se laver correctement les mains (Malaisie).

OMS | Kate Medlicott, Jennifer De France, Elena Villalobos-Prats et Bruce Gordon

Avec les contributions de : Halshka Graczyk (BIT) ; Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI) ; Javier Mateo-Sagasta (IWMI) ; Rio Hada (HCDH) ; Serena Caucci (UNU-FLORES) ; Vladimir Smakhtin (UNU-INWEH); et Lesley Pories (Water.org)

Le présent chapitre porte sur les impacts humains que les changements climatiques entraînent à travers l'eau. Les tendances en matière de morbidité et de mortalité sont examinées dans le contexte des risques sanitaires liés aux changements climatiques, en mettant l'accent sur les options de réponse liées à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement.

5.1 Introduction

Il est de plus en plus évident que les changements climatiques ont de graves répercussions sur la santé et que nombre de ces répercussions sont liées à l'eau. Les changements climatiques menacent tous les aspects de la société, et le retard persistant dans la résolution de ce problème augmente encore les risques pour les vies humaines et le droit à la santé (OMS, 2018b). Si les tendances actuelles des émissions de gaz à effet de serre (GES) se poursuivent, les changements climatiques déclencheront une série d'effets sur la santé qui toucheront principalement les populations les plus pauvres et les plus vulnérables, ce qui aggravera les inégalités tant à l'intérieur des pays qu'entre eux.

Les impacts prévus des changements climatiques sur la santé en relation avec l'eau sont principalement des maladies d'origine alimentaire, hydrique et vectorielle, des décès et des blessures associés à des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les inondations côtières et intérieures, ainsi que la dénutrition qui en résulte ou les pénuries alimentaires causées par les sécheresses et les inondations. Quoiqu'il soit difficile à quantifier, l'impact sur la santé mentale associé aux maladies, aux blessures, aux pertes économiques et aux déplacements peut également être important. Même en ne considérant qu'un sous-ensemble des risques sanitaires et en faisant des hypothèses optimistes sur la croissance économique, on peut s'attendre à ce que les changements climatiques provoquent 250 000 décès supplémentaires par an d'ici à 2030 en entravant les progrès réalisés contre des causes de mortalité telles que la dénutrition, le paludisme et la diarrhée (OMS, 2014).

Les facteurs des changements climatiques (chapitre 1) entraînent une lourde charge de morbidité (OMS, 2018b). Les efforts d'atténuation axés sur la réduction des émissions de GES resteront essentiels pour maintenir les conditions sociales et environnementales de lutte contre les maladies à long terme. Ces efforts sont également nécessaires pour éviter les risques incertains, potentiellement graves, liés à l'eau qui sont des déterminants de la santé, notamment les phénomènes météorologiques extrêmes qui submergent les systèmes de santé, les pannes des systèmes alimentaires, les déplacements de populations à grande échelle et l'exacerbation de la pauvreté. Ces facteurs menacent d'inverser les progrès en matière de santé et de développement général.

Les impacts des changements climatiques sur la santé seront probablement à la traîne de plusieurs décennies par rapport aux réductions des émissions de GES, en raison du décalage entre les changements des déterminants sociaux et environnementaux de la santé (par exemple, la migration due aux pénuries alimentaires) et les résultats sanitaires associés (par exemple, la sous-alimentation et le retard de croissance, les conséquences de la migration sur la santé mentale). Il existe toutefois une possibilité importante d'action coordonnée pour s'attaquer immédiatement aux changements climatiques et améliorer la santé en s'appuyant sur les principes de l'approche « Une seule santé », qui combine des interventions auprès des humains, des animaux et des écosystèmes pour améliorer les résultats en matière de santé publique. Le renforcement de la résilience des services d'eau et d'assainissement ainsi que des systèmes de santé permettraient de sauver des vies dès maintenant et de protéger les populations contre une grande partie des effets potentiels des changements climatiques sur la santé.

La communauté internationale a réalisé d'importants progrès ces dernières années. Les accords mondiaux sur le climat et la santé, en particulier l'Accord de Paris (document final de la 21^e Conférence des Parties (COP), ou Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques), donnent désormais des mandats clairs pour une action plus forte afin de protéger la santé humaine contre les risques climatiques et de promouvoir les avantages de choix de développement plus propres pour la santé. Une gamme de différentes options de politiques et d'appui technique concernant l'eau et, dans une moindre mesure, l'assainissement, est actuellement disponible pour soutenir les pays dans leurs efforts visant à inclure la santé dans les politiques d'adaptation et d'atténuation. Ce qu'il faut maintenant, c'est une mise en œuvre plus systématique, fondée sur des données probantes et à plus grande échelle (OMS, 2015b).

5.2 Tendances de la morbidité et de la mortalité liées à l'eau

La réalisation du droit fondamental d'accès à une eau salubre et suffisante et à un assainissement adéquat, en particulier pour les plus pauvres, permettra d'améliorer la santé et la qualité de vie de millions de personnes. Il en sera de même pour les améliorations de l'hygiène personnelle, domestique et communautaire. En outre, une meilleure gestion des ressources en eau visant à réduire la transmission des maladies à transmission vectorielle, telles que les maladies virales transmises par les moustiques (Kibret et al., 2016), et à faire en sorte que les lacs et les rivières utilisés à des fins récréatives ne contiennent pas de niveaux nocifs de pollution fécale ou de prolifération d'algues, peut sauver de nombreuses vies et présente des avantages économiques directs et indirects considérables, tant au niveau des ménages qu'au niveau des économies nationales (OMS, 2019a). De nombreuses maladies d'origine alimentaire (tableau 5.1) sont également liées à la mauvaise qualité de l'eau utilisée dans la production alimentaire, la transformation post-récolte et/ou la préparation des aliments (OMS, 2006). Selon des estimations récentes, la superficie totale des terres cultivées dans les zones périurbaines, qui sont irriguées par des eaux usées urbaines pour la plupart non traitées, a atteint environ 36 millions d'hectares, soit l'équivalent de la superficie de l'Allemagne (Thebo et al., 2017).

L'objet d'une estimation prudente, l'insuffisance de l'eau et de l'assainissement est à l'origine de près de deux millions de décès évitables dans le monde chaque année, ainsi que de 123 millions d'années de vie corrigées du facteur incapacité (AVCI)⁸ évitables, la charge la plus importante pesant sur les enfants de moins de cinq ans (OMS, 2019a) (tableau 5.2). Depuis 2000, les progrès en matière de mortalité associée à toutes les principales maladies liées à l'eau et à l'assainissement ont montré une tendance à la baisse encourageante (OMS, s.d.), proportionnelle aux progrès réalisés dans l'accès à un meilleur approvisionnement en eau et à un meilleur assainissement. Cependant, la morbidité a été plus lente à diminuer et, dans de nombreuses régions, le fardeau social et économique d'un WASH inadéquat (par exemple, les opportunités de travail ou d'éducation perdues en raison des tâches de collecte de l'eau ou la honte et l'anxiété concernant l'utilisation des toilettes et la gestion de l'hygiène menstruelle) repose sur les femmes et les filles de manière disproportionnée (Wendland et al., 2017).

À la fin de la période des Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) (2000–2015), 91 % de la population mondiale utilisaient une source d'eau potable améliorée et 68 % utilisaient des installations sanitaires améliorées (OMS/UNICEF, 2015). Il reste beaucoup à faire pour atteindre les nouveaux niveaux plus élevés de services d'approvisionnement en eau et d'assainissement gérés de manière sûre, tels que définis dans les ODD, pour les 2,2 milliards et 4,2 milliards de personnes, respectivement, qui ne bénéficient pas de ce niveau de service supérieur (OMS/UNICEF, 2019). Des services gérés de manière sûre sont essentiels pour obtenir des gains sanitaires importants grâce à l'eau, l'assainissement et l'hygiène (WASH) (OMS, 2014)⁹.

⁸ Les années de vie corrigées du facteur incapacité (AVCI, ou DALY en anglais) sont une mesure de la charge globale de morbidité, exprimée en nombre d'années perdues pour cause de mauvaise santé, d'incapacité ou de décès précoce.

⁹ Veuillez consulter les mises à jour de la méthodologie 2017 du Programme commun OMS/UNICEF de suivi de l'approvisionnement en eau, de l'assainissement et d'hygiène (JMP) et les références des ODD pour les définitions de l'eau potable améliorée, de l'assainissement amélioré et des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement gérés de manière sûre (OMS/UNICEF, 2018).

Tableau 5.1 Impacts de l'eau insalubre et de l'assainissement sur la santé qui peuvent être exacerbés par les changements climatiques

Impacts sur la santé	Exemples
Bien-être des personnes	<ul style="list-style-type: none"> • Temps perdu au profit des progrès économiques ou éducatifs, peur, anxiété et stress causés par des services de l'eau et de l'assainissement éloignés ou gérés de manière dangereuse, des inondations et des sécheresses. • Anxiété provoquée par les coûts des traitements médicaux dans le cas d'une maladie ou par une perte de revenus lors d'une convalescence.
Infection microbienne	<ul style="list-style-type: none"> • Infections par voie fécale-orale (diarrhée, choléra, dysenterie, typhoïde, poliomyélite) et infections par helminthes due au manque d'assainissement et d'hygiène, à l'eau et à la nourriture contaminées, ou à des conditions provoquées par des infections microbiennes répétées (retard de croissance, pneumonie, anémie). • Maladies à transmission vectorielle provoquées par une mauvaise gestion de l'eau.
Blessure physique	<ul style="list-style-type: none"> • Noyade ou blessures des professionnels de l'eau et de l'assainissement sur leur lieu de travail. • Blessures physiques entraînées par les inondations.
Intoxication par des substances chimiques	<ul style="list-style-type: none"> • Ingestion de nitrates, fluor, arsenic ou autres polluants chimiques présents en quantité élevée dans l'eau potable.
Sous-nutrition et retard de croissance (ainsi que troubles de la cognition associés)	<ul style="list-style-type: none"> • Diarrhée ou helminthiase répétées du fait de l'eau et de l'assainissement dangereux, entraînant entéropathie environnementale, sous-nutrition et retard de croissance. • Articles alimentaires insuffisants en raison d'une diminution de la disponibilité de l'eau en vue de la production alimentaire, entraînant sous-nutrition et retard de croissance.
Préoccupations émergentes	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance aux antimicrobiens exacerbée par les mauvais services d'eau et d'assainissement en matière de prévention et de contrôle des infections dans les communautés et les établissements de santé, et aggravée par le rejet de résidus antibiotiques, de bactéries résistantes et de gènes dans les eaux usées.

Source : Sur la base des données de l'OMS.

Tableau 5.2 Charge de morbidité due à l'inadéquation des services d'eau, d'assainissement et d'hygiène (WASH), en 2016

Maladie	Morts	EVCI ('000)	Fraction attribuable dans la population
Maladies diarrhéiques	828 651	49 774	0.60
Géohelminthiase	6 248	3 431	1
Infection aiguë des voies respiratoires	370 370	17 308	0.13
Malnutrition*	28 194	2 995	0.16
Trachome	<10	244	1
Schistosomiase	10 405	1 096	0.43
Éléphantiasis	<10	782	0.67
Sous-total eau potable, assainissement et hygiène	1 243 869	75 630	ND
Malaria	354 924	29 708	0.80
Dengue	38 315	2 936	0.95
Onchocercose	<10	96	0.10
Sous-total gestion des ressources en eau	393 239	32 740	ND
Noyades	233 890	14 723	0,73 (0,74 pour les PRFM, 0,54 pour les PRE)
Sous-total sécurité des environnements marins	233 890	14 723	ND
Total services d'eau, d'assainissement et d'hygiène inappropriés	1 870 998	123 093	ND

PRFM Pays à revenu faible et moyen. **PRE** Pays à revenu élevé. **EVCI** Espérance de vie corrigée de l'incapacité **ND** Non disponible. Les estimations concernant la diarrhée, les infections respiratoires aiguës et les noyades incluent également la charge de morbidité dans les pays à revenu élevé.

* Comprend la charge de morbidité due à la malnutrition protéo-calorique et ses conséquences chez les enfants de moins de cinq ans seulement.

Source : OMS (2019a, tableau 2, p. 44).

5.3 Risques pour la santé liés aux changements climatiques

L'Accord de Paris de 2015 a conclu que les changements climatiques touchent déjà la santé humaine, avec une exposition et une vulnérabilité grandissante qui s'observent dans le monde entier. En outre, un réchauffement de 1,5 °C n'est pas considéré comme sans danger pour la santé humaine. Il est attendu que la santé physique et mentale des populations les plus défavorisées, vulnérables et pauvres soit affectée de manière disproportionnée. Ainsi, les changements climatiques sont considérés comme un multiplicateur de la pauvreté, qui pourrait contraindre 100 millions de personnes à l'extrême pauvreté d'ici 2030 (OMS, 2018b).

Les changements climatiques touchent déjà la santé humaine, avec une exposition et une vulnérabilité grandissante qui s'observent dans le monde entier

Les impacts directs des changements climatiques sur la santé comprennent les effets physiologiques de l'exposition à des températures plus élevées, l'incidence croissante des maladies et des blessures respiratoires et cardiovasculaires, et les décès dus à des phénomènes météorologiques extrêmes comme les sécheresses, les inondations, les vagues de chaleur, les tempêtes et les feux de brousse. Parmi les impacts indirects sur la santé qui en découlent des changements écologiques sont : l'insécurité alimentaire et hydrique ; la propagation de maladies infectieuses sensibles au climat ; des réactions de la société aux changements climatiques, telles que les déplacements de populations et ; la réduction de l'accès aux services de santé. Les effets sur la santé mentale après des événements météorologiques extrêmes, des déplacements liés au climat, l'immigration et la perte de culture peuvent durer toute la vie. Étant donné que les effets indirects des changements climatiques peuvent résulter de causes lointaines, ils sont particulièrement difficiles à anticiper ou à prévenir (OMS, 2018b).

Les maladies liées à l'eau touchées par les changements climatiques via l'eau sont principalement d'origine alimentaire, hydrique et vectorielle (avec des difficultés particulières en cas d'inondations), ainsi que les décès et les blessures associés aux inondations et aux sécheresses côtières et intérieures. Des impacts sur la santé peuvent également se produire en raison d'une exposition accrue aux agents pathogènes, aux toxines ou aux produits chimiques présents dans l'eau potable, et de la dénutrition en cas de mauvaises récoltes (OMS, 2017). Les impacts sur la santé affecteront de manière disproportionnée les personnes travaillant dans des professions où elles sont davantage exposées quotidiennement à ces dangers, y compris l'agriculture (OIT, 2016).

Le tableau 5.3 résume les principaux rapports de causalité par lesquels les expositions liées à la variabilité et aux changements climatiques déterminent les effets sur la santé, principalement par la qualité et la quantité de l'eau potable. Les plans de sécurité de l'eau résilients aux changements climatiques peuvent contribuer à réduire les taux de maladie en atténuant ces effets.

La quantification de la charge de morbidité supplémentaire associée au changement climatique reste très incertaine, en raison de la variabilité des scénarios climatiques et de l'effet médiateur des réponses de la société (OMS, 2018b). Cependant, si la conception et la gestion des systèmes ne sont pas résilientes aux changements climatiques, il est clair que les changements climatiques risquent de ralentir ou de compromettre les progrès en matière d'accès à l'eau et à l'assainissement gérés de manière sûre, et d'entraîner une utilisation inefficace des ressources. Par extension, les progrès en matière d'élimination et de contrôle des maladies liées à l'eau et à l'assainissement seront également ralentis ou sapés par les changements climatiques. Les estimations passées de l'évolution des maladies en raison des changements climatiques d'ici à 2030, par rapport aux niveaux de 2000, indiquent un risque de diarrhée 10 % plus élevé dans certaines régions (McMichael et al., 2004). Qui plus est, même des pertes relativement faibles de la couverture en eau et en assainissement au niveau communautaire dues à une mauvaise résilience aux changements climatiques pourraient avoir des effets disproportionnés sur la santé humaine. Pour l'assainissement en particulier, un petit nombre de ménages dont les latrines sont périodiquement inondées, par exemple, peut contaminer toute la communauté, exposant potentiellement tous les membres de la communauté même si leurs propres toilettes n'ont pas été touchées. Par conséquent, il sera essentiel de garantir des services d'eau et d'assainissement résilients aux changements climatiques pour des communautés entières afin de protéger la santé publique (OMS, 2018a ; Wolf et al., 2019). En outre, les pertes de précipitations et d'eaux souterraines liées aux

changements climatiques sont susceptibles d'accroître la demande d'eaux usées comme source d'eau d'irrigation. Parallèlement, l'augmentation des inondations et des sécheresses risque d'exacerber la pollution de l'eau en faisant déborder les systèmes d'assainissement pendant les inondations et en concentrant la pollution pendant les sécheresses (HLPE, 2015). Cette situation entraînera probablement une augmentation de l'irrigation avec une eau de moindre qualité, avec une augmentation proportionnelle des maladies d'origine alimentaire, à moins que des mesures suffisantes de traitement et de contrôle au niveau des exploitations et des marchés ne soient mises en place (Qadir, 2018).

La capacité des vecteurs de maladies à propager les maladies infectieuses augmente, car la hausse des températures de l'eau va accroître la gamme des sites de reproduction favorables à certains vecteurs de maladies (notamment le paludisme, la dengue, la maladie du Nil occidental et la maladie de Lyme, ainsi que les maladies tropicales négligées). Les insectes et les animaux vecteurs peuvent faciliter leur exportation dans des régions comme l'Europe et l'Amérique du Nord, qui étaient auparavant trop froides pour favoriser la transmission. Par exemple, la capacité vectorielle des moustiques qui sont principalement responsables de la transmission de la dengue a augmenté d'environ 10 % depuis les années 1950 (OMS, 2018b). Cette augmentation de la portée est également prévue pour le paludisme dans les régions limitrophes des zones endémiques actuelles, des changements moins importants se produisant dans les zones actuellement endémiques. On prévoit également que les changements climatiques et l'augmentation de la population exacerberont considérablement l'impact des barrages, qui constituent des sites de reproduction pour les moustiques, sur la propagation du paludisme, en particulier en Afrique subsaharienne (Kibret et al., 2016).

Les changements climatiques risquent de ralentir ou de compromettre les progrès en matière d'accès à l'eau et à l'assainissement gérés de manière sûre

Les changements écologiques dus aux variations de la disponibilité en eau induites par les changements climatiques peuvent provoquer l'insécurité alimentaire et la dénutrition. Les variations et les extrêmes climatiques sont parmi les principales causes des crises alimentaires graves, et l'effet cumulatif nuit à toutes les dimensions de la sécurité alimentaire, y compris la disponibilité, l'accès, l'utilisation et la stabilité. On prévoit que la dénutrition sera l'une des plus grandes menaces pour la santé résultant des changements climatiques. Selon les projections, 540 à 590 millions de personnes seront sous-alimentées si le réchauffement venait à atteindre 2 °C, les jeunes et les personnes âgées étant particulièrement touchés. La hausse des températures, les inondations et les sécheresses touchent également la sécurité alimentaire. Par exemple, la hausse des températures peut augmenter les niveaux de pathogènes dans les sources alimentaires (comme la ciguatera dans le poisson) et dans les aliments, tandis que les inondations augmentent le risque de propagation des pathogènes par le bétail (OMS, 2018b).

Les changements proportionnels estimés dans le nombre de personnes tuées ou blessées lors des ondes de tempête et des inondations côtières sont importants, et on prévoit que les impacts sanitaires aigus (par exemple, blessures et noyades) des inondations intérieures augmenteront dans une proportion similaire à celle des personnes touchées par la dénutrition (OMS, 2018b). L'augmentation de l'eutrophisation et des efflorescences algales nuisibles (HAB) causées par le réchauffement de la température de l'eau est particulièrement préoccupante. L'exposition aux cyanotoxines des HAB par l'eau potable, le poisson et les activités récréatives provoque une intoxication aiguë ou chronique chez les humains et les animaux (SRC, 2018). Une étude récente indique que les éclosions d'intoxication par les cyanotoxines sont devenues plus fréquentes au cours des trois dernières décennies (Trevino-Garrison et al., 2015).

Lorsque la santé humaine est compromise, d'autres composantes du développement sont mises en danger. Par exemple, lorsqu'un adulte tombe malade, il ne peut ni travailler ni s'occuper des autres. Si cela arrive aux jeunes, ils ne peuvent pas aller à l'école et les parents doivent renoncer à travailler pour s'occuper d'eux. Pendant ce temps, les factures médicales risquent de s'accumuler et de peser sur les revenus des ménages. Les ménages régressent donc sur le plan économique, et sont même confrontés à la migration économique (chapitre 8) en raison de la charge sanitaire supplémentaire liée aux changements climatiques. L'incapacité à établir des liens entre l'eau, l'assainissement et le revenu est l'un des nombreux oublis qui ont conduit à des approches du développement qui ont fait abstraction

Tableau 5.3 Impacts des expositions à la variabilité et aux changements climatiques sur la santé : rapports de causalité

Ressources en eau et approvisionnement en eau potable		
Expositions liées aux changements climatiques	Impacts potentiels sur les ressources en eau	Impacts potentiels sur la santé et autres impacts
Températures moyennes accrues	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance accélérée, survie, persistance, transmission et virulence accrues de pathogènes transmis par l'eau, exacerbées par la stabilité réduite des résidus de chlore. • Formation accrue de sous-produits de la désinfection. • Évapotranspiration accrue et disponibilité de l'eau amoindrie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques accrus d'intoxications alimentaires et de maladies liées à l'eau à partir de pathogènes. • Risque potentiellement accru de cancer du fait de l'exposition à long terme aux sous-produits de la désinfection. • Impacts similaires à ceux des sécheresses.
Sécheresse accrue	<ul style="list-style-type: none"> • Faible disponibilité de l'eau pour le nettoyage, la cuisine et l'hygiène, renforçant l'exposition à la contamination par l'eau. • Concentration accrue de polluants lorsque le climat est plus sec. Cela s'applique notamment aux sources d'eau souterraine qui sont déjà de faible qualité, par exemple dans certaines parties du Bangladesh et de l'Inde, de l'Amérique latine et du Nord et, et de l'Afrique, où les concentrations d'arsenic, de fer, de manganèse et de fluor sont souvent problématiques. • Les surfaces de saturation et les flux d'eau de surface peuvent provoquer l'assèchement des puits, augmentant les distances à parcourir pour recueillir une eau potentiellement dangereuse, et renforçant la pollution des sources d'eau. • Des précipitations faibles peuvent augmenter le nombre de sites de reproduction des vecteurs en ralentissant les débits fluviaux. • Moins bonne sécurité alimentaire en raison d'une production d'articles alimentaires diminuée dans les tropiques ; accès plus faible à la nourriture en raison d'un approvisionnement réduit et de prix plus élevés. • La construction accrue de barrages pour s'adapter aux sécheresses plus fréquentes peut aggraver la transmission et les changements de tendances de l'infection à la malaria (Kibret et al., 2015). 	<ul style="list-style-type: none"> • Intoxications alimentaires et maladies liées à l'eau accrues. • Fluor : fluorose dentaire et squelettique. • Arsenic : changements survenant sur l'épiderme (changements de pigmentation, hyperkératose), cancer (peau, vessie, poumon), etc. • Fer et manganèse : eau décolorée, goût désagréable. • Risque accru des impacts sur la santé tels que la malnutrition découlant de l'interaction entre production et apport alimentaire réduits dans les régions pauvres et les taux élevés de maladies infectieuses. • Effets combinés de la sous-nutrition et des maladies infectieuses, des effets chroniques des retards de croissance et de l'émaciation sur les enfants.
Précipitations plus extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'eau nécessaire à l'hygiène, dommages causés par les inondations sur les infrastructures de l'eau et d'assainissement, et contamination des sources d'eau en raison de débordements. • Précipitations et ruissellement pluvial plus abondants entraînant une charge plus importante de pathogènes, de produits chimiques et de sédiments en suspension dans les eaux de surface. • Inondations entraînant le débordement et la contamination des systèmes d'égouts, en particulier lorsque les infrastructures sont faibles. • Précipitations accrues à long terme, provoquant l'élévation du niveau des eaux souterraines, ce qui peut affaiblir l'efficacité des procédés naturels de purification l'épuration. • La quantité étendue d'eau de surface peut étendre les sites de reproduction des vecteurs, et les précipitations accrues sont susceptibles de permettre la croissance de la végétation et de la population d'hôtes vertébrés. • Les inondations sont susceptibles de forcer les hôtes vertébrés à se rapprocher des humains. • Une forte pluviométrie peut réduire les populations d'insectes vecteurs et d'hôtes intermédiaires pour certaines maladies infectieuses (par exemple, schistosomiase), car les larves tombent de leur habitat dans des eaux stagnantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques accrus d'intoxications alimentaires et de maladies liées à l'eau, ainsi que d'exposition à des produits chimiques potentiellement toxiques. • Risque accru ou réduit de maladies à transmission vectorielle en fonction de l'écologie locale.

Ressources en eau et approvisionnement en eau potable (suite du tableau 5.3)		
Expositions liées aux changements climatiques	Impacts potentiels sur les ressources en eau	Impacts potentiels sur la santé et autres impacts
Températures des eaux douces plus élevées (et concentration moins importante d'oxygène, associée à une concentration plus importante de nutriments tels que le phosphore, et autres facteurs)	<ul style="list-style-type: none"> • Changements de distribution géographique et saisonnière des pathogènes, par exemple <i>Vibrio cholerae</i> et <i>Schistosoma spp.</i> • Formation accrue d'algues dangereuses (cyanobactéries et autres bactéries) dans les eaux douces. • Conditions plus favorables pour la croissance microbienne et la prolifération de pathogènes dans l'eau. • Une eau plus chaude et moins riche en oxygène peut libérer davantage de nutriments benthiques (par exemple, le phosphore), ce qui encourage l'activité accrue de phytoplanctons et libère des métaux (par exemple, fer et manganèse), qui proviennent de sédiments lacustres et pénètrent les eaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques accrus d'intoxications alimentaires et de maladies liées à l'eau telles que le choléra et la schistosomiase. • Endommagement du foie, vulnérabilité aux tumeurs, neurotoxicité, toxicité dermatologique et respiratoire (effets à long terme selon la toxine à laquelle la personne est exposée). • Goût et odeur désagréables. • Impact sur la productivité des écosystèmes marins avec des conséquences sur l'approvisionnement en nourriture et la sécurité.
Élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> • Les zones côtières, où le niveau de la mer s'élève, peuvent devenir inhabitables et entraîner le déplacement de la population. • Élévation du niveau de la mer renforçant la salinité des aquifères côtiers, où la recharge des nappes phréatiques est également susceptible de diminuer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque accru de maladies liées à l'eau, impacts sanitaires de la consommation élevée de sel sur les maladies non transmissibles.
Assainissement et gestion des eaux usées		
Impact sur les changements climatiques	Exemple d'impact sur l'assainissement	Exemples d'effets connexes sur la santé
Précipitations plus intenses (entraînant des pluies extrêmes, des inondations, des glissements de terrain, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations de systèmes in situ entraînant des écoulements, des débordements et de la contamination de l'environnement (par exemple, des provisions en eau, des eaux de crue, des eaux de surface, des sols). 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques accrus de maladies transmises par des vecteurs et du renforcement de la résistance aux antimicrobiens. • Risques accrus d'impacts sur la santé associés à la sous-nutrition.
Déclin à long terme des précipitations et du ruissellement pluvial (entraîner par exemple une sécheresse à long terme, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Approvisionnement en eau de plus en plus faible empêchant le fonctionnement de systèmes d'assainissement qui dépendent de l'eau (par exemple, chasses d'eau, égouts). 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques accrus de maladies liées à l'eau et les vecteurs (par exemple, en raison d'un manque d'eau en vue du nettoyage, entraînant de mauvaises conditions sanitaires et une mauvaise hygiène). • Risques accrus associés à la sous-nutrition qui découlent de l'interaction avec la production et l'apport alimentaire réduits dans les régions pauvres, ainsi que la multiplication des maladies associées à la sous-nutrition. • Risque accru de maladies liées à l'eau et les vecteurs associées à l'utilisation d'eaux usées non traitées pour la production alimentaire.
Températures plus élevées (entraînant des eaux de surface plus chaudes, des températures des sols plus élevées et des vagues de chaleur)	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais fonctionnement, défaillance ou inaccessibilité des systèmes d'assainissement qui empêchent les bons comportements sanitaires (par exemple, fortes odeurs lors des vagues de chaleur qui dissuadent d'utiliser les latrines). 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacts sur la santé découlant de l'utilisation dangereuse ou de la non-utilisation des systèmes d'assainissement (par exemple, conditions physiques ou mentales des personnes se retenant d'uriner ou de déféquer).

Source : Sur la base des données de l'OMS (2017; 2019b).

de ce que les marchés financiers sont des alliés importants dans l'effort mondial d'éradication de la crise de l'eau et de l'assainissement (Pories, 2016). L'OMS estime que l'accès universel à l'eau potable et à l'assainissement se traduirait par des avantages économiques de 70 milliards de dollars EU chaque année, grâce à la réduction des dépenses de santé et à l'augmentation de la productivité résultant de la diminution des maladies (OMS, 2012).

5.4 Options d'intervention en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement

Face aux changements climatiques, la réalisation des objectifs des ODD en matière de santé, de nutrition et d'eau nécessitera des interventions sectorielles mais aussi coordonnées et liées (Ringler et al., 2018). L'adaptation des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement est essentielle pour éviter les risques sanitaires potentiels liés aux changements climatiques. Dans le cas de l'assainissement, le choix des installations d'assainissement sur place et des technologies de traitement des eaux usées et la manière dont elles sont gérées peuvent également jouer un rôle dans l'atténuation (OMS/DFID, 2009).

L'adaptation des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement est essentielle pour éviter les risques sanitaires potentiels liés aux changements climatiques

Les mesures d'adaptation visant à rendre les systèmes d'eau et d'assainissement plus résilients aux changements climatiques peuvent être envisagées dans le cadre de six composantes essentielles des systèmes de santé : politique et gouvernance, financement, prestation de services, technologies et infrastructures, main-d'œuvre et systèmes d'information (y compris le suivi, la surveillance et la recherche) (OMS, 2015c). Des mesures telles que des systèmes de collecte de données et de suivi, des plans d'intervention et de relèvement en cas de catastrophe et des programmes de changement de comportement peuvent favoriser une adaptation efficace. L'amélioration des mécanismes de financement des prestataires de services d'eau et d'assainissement, qui facilite la capacité de ces entités à constituer des réserves d'urgence, leur permettrait d'être mieux préparés à répondre aux phénomènes climatiques. Le tableau 5.4 résume des exemples de mesures d'adaptation et d'atténuation clés. Des mesures supplémentaires d'adaptation et d'atténuation dans le secteur de l'eau sont détaillées au chapitre 3.

Une grande partie des responsabilités relatives à la mise en œuvre des options d'adaptation ne relèvent pas des ministères de la santé, certes, mais le secteur de la santé doit remplir ses fonctions essentielles dans le cadre de la fourniture de services d'approvisionnement en eau et d'assainissement. L'une de ces fonctions est de contribuer à la coordination sectorielle et de veiller à ce que la protection de la santé soit incluse dans les normes et standards. Une autre fonction principale consiste à intégrer les risques climatiques liés à l'eau et à l'assainissement dans les politiques sanitaires, les systèmes de surveillance de la santé et les activités de promotion de la santé lorsque l'eau et l'assainissement sont nécessaires pour la prévention primaire des maladies et pour réduire l'utilisation des antimicrobiens.

Un aspect dont le secteur de la santé est pleinement responsable est la résilience aux changements climatiques des établissements de santé, y compris l'approvisionnement en eau et les services d'assainissement des établissements de santé qui sont résilients aux changements climatiques. Le secteur est également chargé de veiller à ce que les établissements de santé soient prêts à faire face aux charges de patients supplémentaires en raison des événements extrêmes et à s'adapter aux changements lents de la charge de morbidité associée aux changements climatiques.

Pour planifier et adopter la combinaison de solutions la plus rentable, il sera essentiel d'élaborer des modèles et des cadres d'analyse de scénarios qui permettent de mieux comprendre les sources de la charge de morbidité locale ainsi que les changements futurs possibles résultant des changements climatiques afin de bien orienter la gestion des ressources en eau qui soit résiliente aux changements climatiques et protège la santé (Hofstra et al., 2019).

Tableau 5.4 Principales mesures d'adaptation et d'atténuation mises en places par éléments constitutifs du système de santé

Catégorie	Exemple
Politique et gouvernance	<ul style="list-style-type: none"> • Politiques et stratégies nationales fondées sur WASH et sur les évaluations de la vulnérabilité sanitaire pour garantir la durabilité des investissements (OMS, 2018a). • Intégrer le principe « Un monde, une santé », qui aborde les déterminants humains, animaux et écologiques de la santé.
Financement	<ul style="list-style-type: none"> • Adopter les approches de gestion des risques pour déterminer le coût des risques climatiques supplémentaires et les intégrer aux plans de financement relatifs à l'eau et à la santé, ainsi que les plans de financement et d'exécution relatifs aux infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement. • Activités d'inclusion financière qui offrent aux ménages à revenu faible des crédits ou des assurances qui permettent aux victimes d'événements climatiques intenses de se relever plus facilement après la destruction de leur domicile ou de leurs cultures.
Prestation de services	<ul style="list-style-type: none"> • Adoption d'approches de la gestion des risques pour l'eau et l'assainissement sous la perspective du climat au niveau local, par exemple, des plans de sécurité de l'eau en vue de la résilience aux changements climatiques (voir OMS, 2017, tableau 3, p. 35 pour consulter des exemples de dangers et de mesures de contrôle) et des plans de sécurité de l'assainissement en vue de la résilience aux changements climatiques (voir OMS, 2016 et 2018a, tableau 3.6, p. 54, pour consulter les options d'adaptation des systèmes d'assainissement) mis en oeuvre par les prestataires de services et les municipalités. • Lutte contre la pénurie d'eau grâce à l'utilisation en toute sécurité des eaux usées en agriculture et à la recharge des nappes phréatiques.
Technologies et infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> • Atténuer les émissions provenant de l'assainissement et du traitement des eaux usées, par exemple les émissions provenant des latrines et des stations d'épuration ; potentiel de récupération de l'énergie et du biogaz. • Renforcer la résilience des systèmes de santé, de l'eau et d'assainissement, par exemple, des services WASH résilients aux changements climatiques dans les établissements de santé, la préparation aux admissions liées au climat, et des technologies d'eau et d'assainissement résilientes aux changements climatiques (OMS, 2018a).
Main-d'oeuvre	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir une main-d'oeuvre appropriée pour fournir les services d'eau et d'assainissement et sensibiliser les employés. • Formation et protections en vigueur pour prévenir les maladies et les blessures sur le lieu de travail en raison des risques climatiques (OIT, 2016 ; OMS, 2018b).
Systèmes d'information (notamment le contrôle et la surveillance)	<ul style="list-style-type: none"> • Veiller à ce que les systèmes de surveillance et de contrôle de la santé comprennent des données sur l'accès aux services d'eau et d'assainissement et sur leur utilisation, puis analysés à l'aide de données sur le climat pour éclairer l'adaptation des programmes sanitaires et la prestation de services d'eau et d'assainissement (OMS, 2018b). • Renforcer les programmes de contrôle et de surveillance en ce qui concerne l'eau de boisson, d'irrigation et de baignade, surtout lors d'événements climatiques extrêmes et de catastrophes liées à l'eau (OMS, 2018a).
Recherche	<ul style="list-style-type: none"> • Déterminer et lutter contre les manques de connaissances clés sur les interactions entre l'eau, les changements climatiques et la santé humaine, notamment la modélisation de la quantité et de la qualité de l'eau en vue d'anticiper, d'ajuster et de planifier des services résilients aux changements climatiques (Hofstra et al., 2019).

Source : Auteurs.

6

Agriculture et sécurité alimentaire



Les communautés ont terrassé des collines et des vallées lors de la saison sèche pour retenir les terres arables, les nutriments et l'eau (Rwanda).

Ce chapitre présente les points saillants du lien sol-eau en termes d'impacts dus aux changements climatiques lorsqu'à travers l'agriculture, les approches pratiques de gestion du sol et de l'eau offrent des possibilités d'adaptation climatique et son atténuation. Il présente également une perspective agricole qui pourrait inciter la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques de s'engager davantage à promouvoir une meilleure gestion de l'eau.

6.1 Introduction

Le climat est une ressource pour l'agriculture. Au fil des millénaires, les systèmes humains de production agricole, d'élevage du bétail, d'aquaculture en eau douce et de pêche côtière se sont adaptés à la répartition des températures et des précipitations. En ce sens, l'exposition de l'agriculture aux risques liés aux variations quotidiennes du climat et aux tendances à long terme des changements saisonniers et interannuels de la température et des précipitations est bien connue, notamment par les agriculteurs et les négociants de matières premières. Le rythme et l'ampleur grandissants de ces changements au cours des 50 à 100 prochaines années sont une source de préoccupation, en particulier pour les personnes pauvres des zones rurales qui comptent essentiellement sur l'agriculture pour préserver leurs moyens de subsistance.

Le système alimentaire mondial a généralement réussi à répondre à la demande croissante de calories, certes, pourtant 821 millions de personnes (soit 11 % de la population mondiale) sont encore gravement sous-alimentées, et ce nombre augmente en termes absolus. Si l'impact des chocs climatiques intenses est généralement reconnu, la pauvreté chronique, les bouleversements économiques et l'éloignement du marché ont rendu les producteurs ruraux vulnérables aux changements climatiques à long terme. En plus des chocs climatiques à court terme, les tendances à la sécheresse, les températures nocturnes élevées, l'incidence du gel ou une augmentation de l'humidité relative auront des impacts à long terme sur les fonctions agroécologiques. Cette perturbation des modes de production alimentaire n'est pas toujours remplacée par d'autres approvisionnements (par exemple, par importation) à des prix abordables, et les systèmes de distribution de l'aide alimentaire ne sont pas toujours en mesure de satisfaire la demande en apport calorique de base et de suppléments nutritionnels. On estime donc que l'augmentation de la variabilité du climat et des phénomènes climatiques extrêmes menace la sécurité alimentaire, notamment l'accès des populations à des régimes alimentaires sains et nutritifs (FAO/FIPAD/UNICEF/PAM/OMS, 2018).

Dans le contexte des changements climatiques, les défis liés à la gestion de l'eau utilisée en agriculture sont de deux ordres. D'une part, il existe le défi d'adapter les modes de production existants pour faire face à l'incidence plus élevée de la pénurie d'eau (physique et économique) et de l'excès d'eau (protection contre les inondations et drainage). D'autre part, la nécessité de répondre à la politique vise à « décarboniser » l'agriculture au moyen de mesures d'atténuation des changements climatiques qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre (GES) et améliorent la disponibilité de l'eau. Le rôle de la gestion de l'eau du secteur agricole est central dans la réponse d'adaptation de l'agriculture, permettant des cycles de production flexibles pour les cultures de rente et certains aliments de base, notamment le riz. La gestion de l'humidité des sols pluviaux est également cruciale pour maintenir la structure du sol et favoriser la croissance des racines et l'établissement des plantes afin d'absorber le carbone.

L'ampleur mondiale de ces défis n'est pas sans importance. On estime que l'agriculture, la foresterie et les autres modes d'exploitation des terres (appelées le « secteur » AFAT par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC]) représentent 23 % des émissions anthropiques totales de GES pour la période de 2007 à 2016 (GIEC, 2019b). Les statistiques agricoles déclarées (FAOSTAT, s.d.) indiquent qu'en 2016, 37 % (48,7 millions de km²) de la superficie totale des terres (130,1 millions de km²) faisaient l'objet d'une quelconque forme de gestion agricole, notamment les terres cultivées, les cultures permanentes, les pâturages et les zones humides aménagées. Le rythme auquel se produit la conversion de l'utilisation des terres et la tendance à l'utilisation d'intrants agricoles de forte intensité sur les terres (engrais inorganiques en particulier) placent la barre très haut en ce qui concerne l'adoption de mesures d'adaptation durables et de mesures d'atténuation efficaces, cruciales pour une contribution positive du secteur à la réalisation des objectifs climatiques.

Les conséquences environnementales néfastes du système actuel de production alimentaire ont été évoquées, en particulier en ce qui concerne les émissions, la perte de biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles, dans le cadre des prétendues « frontières planétaires » (Springmann et al., 2018 ; Willet et al., 2019). En raison de ces limites établies en matière de sol et d'eau, des initiatives mondiales d'intensification durable de l'agriculture, visant à maintenir les niveaux de croissance de la production agricole tout en réduisant la croissance des intrants et des niveaux d'émission, apparaissent déjà sous le terme générique « agriculture intelligente face au climat » (AIC) (encadré 6.1).

Il y a 2,1 milliards de pauvres et 767 millions de personnes vivant encore dans l'extrême pauvreté, dont 80 % dans les zones rurales

L'AIC est un ensemble reconnu d'approches réfléchies en matière de gestion des terres et de l'eau, de conservation des sols et de pratiques agronomiques permettant d'anticiper la variabilité climatique, de capturer le carbone et de réduire les émissions de GES. Dans la plupart des cas, il s'agit de l'agriculture de conservation bien établies (par exemple, Corsi, 2019) qui peuvent être adaptées en vue de conserver la structure du sol, la matière organique et l'humidité dans des conditions plus sèches, mais également de techniques agronomiques (notamment l'irrigation et le drainage) visant à ajuster ou prolonger les calendriers de culture afin de les adapter aux changements climatiques saisonniers et interannuels. L'irrigation et le drainage offrent une flexibilité qui fait de la gestion de l'eau une réponse d'adaptation attrayante, avec une excellente capacité de séquestration du carbone pour les cultures temporaires et permanentes. Toutefois, cette flexibilité peut entraîner un épuisement des ressources en eau locales et une détérioration de la qualité de l'eau. Les solutions fondées sur la nature (SfN) au problème de pénurie d'eau et de détérioration de qualité de l'eau doivent également être prises en compte, notamment la restauration des paysages dans le cadre des pratiques agricoles (WWAP/ONU-Eau, 2018).

Il y a 2,1 milliards de pauvres et 767 millions de personnes vivant encore dans l'extrême pauvreté, dont 80 % dans les zones rurales. La répartition mondiale de la pauvreté est fortement asymétrique (95 % des pauvres des zones rurales) vers l'Afrique subsaharienne et l'Asie du Sud/Sud-Est (Banque mondiale, 2016b). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime qu'environ 475 millions de petites exploitations agricoles (jusqu'à 2 ha) produisent des cultures de subsistance et de rente sur seulement 12 % des terres agricoles mondiales (FAO, 2015b).

On estime que les changements climatiques augmentent l'incidence de la pauvreté rurale. Même de petites variations saisonnières peuvent être à l'origine d'une insécurité alimentaire (à mesure que les prix des denrées alimentaires augmentent) et entraîner une augmentation des incidences des cas de maladies chez les plantes, les animaux et les êtres humains. L'accumulation de ces chocs climatiques peut alors faire baisser de façon progressive les revenus ruraux et la croissance économique, et compromettre ainsi l'accès des populations pauvres des zones rurales aux ressources foncières, hydriques, forestières et halieutiques. La réduction globale de la base de leur principal atout entraîne à son tour une réduction de la résilience à long terme des populations rurales pauvres (FAO, 2019).

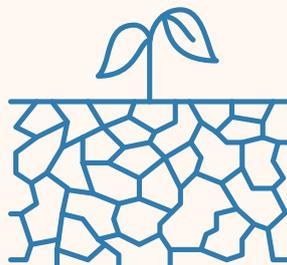
On estime que les effets conjugués des changements de température et de l'incidence des conditions climatiques extrêmes dans les zones tropicales devraient entraîner encore plus ces populations déjà vulnérables dans un état d'extrême pauvreté ou les écarter du secteur agricole. Les changements climatiques sont par conséquent considérés comme un obstacle à la lutte contre la pauvreté

Encadré 6.1 Agriculture intelligente face au climat

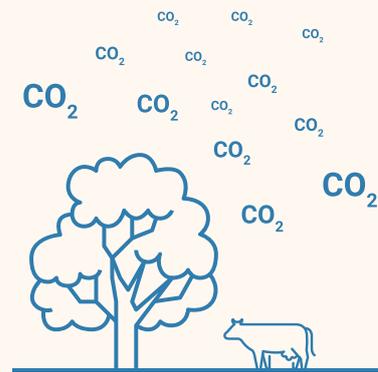
Augmenter durablement la production agricole et les revenus



S'adapter et renforcer la résilience aux changements climatiques



Réduit ou élimine les émissions de gaz à effet de serre lorsque possible



Source : FAO (2017b).

« L'agriculture intelligente face au climat (AIC) est une approche qui permet de définir les mesures nécessaires pour transformer et réorienter les systèmes agricoles dans le but de soutenir efficacement le développement de l'agriculture et d'assurer la sécurité alimentaire face aux changements climatiques. L'agriculture intelligente face au climat vise trois objectifs principaux : l'augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles ; l'adaptation et le renforcement de la résilience face aux impacts des changements climatiques ; et la réduction et/ou la suppression des émissions de gaz à effet de serre, le cas échéant. » (FAO, s.d.a).

« L'AIC ne constitue pas un ensemble de pratiques pouvant être appliquées à l'échelle mondiale, mais plutôt une approche qui fait appel à différents éléments intégrés à l'exploitation agricole et en dehors et qui intègre les technologies, les politiques, les institutions et les investissements. » (FAO, 2017b).

Les mesures d'adaptation choisies comprennent :

- le mouillage et le séchage du riz irrigué ;
- les cultures intercalaires visant à réduire les températures du couvert végétal ;
- la lutte antiparasitaire intelligente face aux changements climatiques ;
- les outils de gestion des risques basés sur les indices.

Quelques mesures d'atténuation pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) :

- le pompage à l'énergie solaire pour réduire les apports énergétiques à base de pétrole et les émissions connexes ;
- la gestion des éléments nutritifs propres au site pour réduire l'apport d'engrais inorganiques et augmenter la rétention de matière organique (carbone) dans le sol.

Quelques mesures comportant des avantages connexes :

- agriculture respectueuse de l'environnement* pour augmenter la séquestration du carbone dans le sol, retenir l'humidité du sol et éviter les perturbations du sol ;
- la gestion de la fertilité du sol pour réduire les émissions de GES provenant des engrais inorganiques, afin d'améliorer la capacité de rétention d'eau.

Des informations supplémentaires concernant l'AIC sont disponibles en ligne, dans des

- ouvrages de référence et cours d'apprentissage en ligne¹ ;
- Collections connexes².

*« L'agriculture respectueuse de l'environnement est un système cultural qui favorise le maintien d'un couvert végétal permanent, une perturbation des sols minimale (pas de labourage, de semis) et la diversification des espèces végétales. Elle améliore la biodiversité et stimule les processus biologiques naturels qui ont lieu au-dessus et en dessous de la surface du sol, ce qui contribue à une utilisation plus efficace de l'eau et des nutriments et permet d'améliorer durablement la production végétale » (FAO, s.d.b).

¹ Pour plus d'informations, consultez le site www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/en

² Pour plus d'informations, consultez le site www.fao.org/gacsa/resources/gacsa-csa-documents/en/

rurale. Avec 80 % des impacts de la sécheresse absorbés par les producteurs ruraux, il est attendu une augmentation de la pression sur les ressources locales en eau et la dépendance à l'égard des technologies de pompage de l'eau en particulier (FAO, 2019).

Il est donc important que les interactions entre le climat et les terres ainsi que le rôle de la gestion agricole dans la production ou la compensation des émissions de GES fassent l'objet d'un rapport spécial du GIEC sur les changements climatiques et les terres (GIEC, 2019b). Il est également important que la gestion de l'eau destinée à l'agriculture fasse désormais partie intégrante des négociations sur le climat, compte tenu des engagements pris dans le cadre de la décision 4/CP.23 de l'action commune de Korovina pour l'agriculture (CCNUCC, 2017) (encadré 6.2).

6.2 Impacts climatiques et base de références en agriculture : faire face aux chocs des tendances

On prévoit à court terme que le réchauffement climatique à l'origine de l'accélération du cycle hydrologique et de l'augmentation de la puissance d'évaporation de l'atmosphère devrait augmenter la demande de ressources en eau, car le secteur agricole s'efforce de suivre le rythme auquel la demande de production augmente (FAO, 2011b). L'ensemble des effets climatiques sur l'agriculture et les implications pour la gestion de l'eau destinée à l'agriculture ont été définis dans une typologie complète indiquant la vulnérabilité et l'adaptabilité relatives des principaux systèmes agricoles (tableau 6.1), y compris les zones sensibles mentionnées dans le prologue. Les options d'interventions dans la gestion des ressources en eau indiquent un ensemble d'approches adaptatives correspondant à chaque cas.

En général, il est possible d'anticiper les effets des changements de la distribution des températures et d'adopter des approches d'adaptation à long terme sur la base des projections des modèles climatiques. Toutefois, l'augmentation de la volatilité des précipitations, et des pluies en particulier (intensité, durée et fréquence), remet en question les réponses adaptatives dans certains des systèmes agricoles les plus productifs. Elle fait également obstacle aux tentatives d'intégrer l'humidité atmosphérique dans les modèles de circulation générale (MCG). L'ensemble des contraintes hydriques attribuées aux prélèvements d'eau destinée à l'agriculture dans le Rapport spécial du GIEC sur les terres émergées illustre l'incertitude liée aux diverses projections du modèle qui ont été évaluées (GIEC, 2019b). Néanmoins, le réchauffement climatique, combiné à l'augmentation de la variabilité climatique et à l'accélération du cycle hydrologique, offrira de nouvelles possibilités agroclimatiques (comme des saisons de culture prolongées) pour certains, tout en constituant des obstacles pour d'autres (des périodes prolongées ou décalées de déficit

Encadré 6.2 Rendre visible l'utilisation de l'eau destinée à l'agriculture dans le cadre du processus des conférences des Nations Unies sur les changements climatiques

Lors de la 23^e Conférence des Parties (Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques – COP23, 2017), les Parties ont pris une décision sur les prochaines étapes pour l'agriculture dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Connue sous le nom « Action commune de Korovina pour l'agriculture » (Koronivia Joint Work on Agriculture, KJWA), cette décision historique représente un grand pas en avant dans les négociations au sein de la CCNUCC liées à l'agriculture et à la sécurité alimentaire.

Les parties et les acteurs sont invités à travailler de concert dans le cadre de cette décision pour veiller à ce que le développement agricole assure à la fois une sécurité alimentaire accrue face aux changements climatiques et une réduction des émissions. La KJWA se penchera sur six sujets dans les secteurs agricoles liés à la sécurité alimentaire et aux impacts socioéconomiques des changements climatiques sur le sol, le bétail, les nutriments et la gestion de l'eau.

Les travaux menés dans le cadre de la KJWA permettront pour la première fois d'intégrer les ressources en eau dans le processus de négociation de la CCNUCC, étant donné que la « gestion de l'eau » dans l'agriculture est étroitement liée aux actions menées dans d'autres secteurs. Par conséquent, une approche intégrée de la gestion des ressources en eau sera mise en application, ce qui signifie que « les autres utilisations non agricoles de l'eau » seront également reflétées dans les discussions.

d'humidité du sol par exemple). Ces changements dans les modes de production se produisent dans un contexte économique limité par la réduction du nombre d'options en matière de ressources naturelles et par la concurrence intersectorielle pour les terres et l'eau. La transformation structurelle de l'agriculture en général (population active issue de l'agriculture et adoption de nouvelles technologies) influencera également les types et les processus d'adaptation ainsi que les possibilités d'atténuation des GES.

La production mondiale de denrées alimentaires, de fibres et de cultures industrielles continue de croître de façon générale au même rythme que la demande. Les projections à moyen terme à l'horizon 2027 pour la production et la consommation agricoles laissent entrevoir un ralentissement général de la croissance à mesure que la demande diminue progressivement (OCDE/FAO, 2018). Les projections à long terme à l'horizon 2050 (FAO, 2017a) indiquent des taux de croissance plus élevés de la demande en apport calorifique dans les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, ainsi que des risques accrus liés à la production résultant des changements progressifs des régimes climatiques et des phénomènes extrêmes associés, en particulier au Moyen-Orient (FAO, 2017a). Ces projections macroéconomiques reconnaissent l'impact prévu des changements climatiques sur tous les aspects de la production agricole. Le GIEC (2014a) et Ray et al. (2015) concluent que jusqu'à un tiers de la variabilité du rendement mondial des cultures peut s'expliquer par les variations climatiques, mais il n'a pas été possible de quantifier ces impacts de façon exhaustive au moyen de la modélisation climatique. Les changements dans la demande en ressources en eau destinées à l'agriculture restent également difficiles à prévoir. La dernière évaluation du GIEC sur le climat et les terres fait état d'une très large gamme de projections modélisées de la demande d'eau destinée à l'irrigation, allant d'un niveau de référence actuel d'environ 2 500 km³/an en 2005 à entre 2 900 et 9 000 km³/an d'ici 2100 (GIEC, 2019b).

Le forçage climatique anticipé des grands systèmes agroalimentaires dans le cadre des scénarios des profils représentatifs d'évolution de concentration de GES (*Representative Concentration Pathway* ou *RCP* en anglais) a été examiné dans le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC, 2014a). Il suggère que certains changements entre la production pluviale et la production irriguée seront nécessaires pour tenir compte de l'impact global des limitations de l'eau et de l'enrichissement en CO₂ (Elliot et al., 2014). En outre, on prévoit que d'ici 2040 des changements dans les régimes régionaux de précipitations ayant une incidence sur la production agricole émergeront pour quatre grandes cultures : le blé, le soja, le riz et le maïs (Rojas et al., 2019). Il est donc urgent d'entériner les co-bénéfices des mesures d'adaptation et d'atténuation afin de maintenir les niveaux de production agricole.

6.2.1 Demande en ressources en eau pour l'agriculture

Les terres irriguées, responsables de 69 % des prélèvements d'eau dans le monde (AQUASTAT, 2014), ressentiront le plus l'impact des températures élevées et de l'aridité. Bien que l'étendue actuelle de ces terres (environ 3,3 millions de km²) constitue seulement 2,5 % de la superficie totale (figure 6.1), elles représentent 20 % des terres cultivées et génèrent environ 40 % de la production agricole mondiale (FAOSTAT, s.d.). Le processus de prélèvement, de dérivation, d'application et de drainage de l'eau a également sur ces terres des répercussions environnementales à long terme, notamment l'épuisement des aquifères, la salinisation du sol et la pollution par le ruissellement et le drainage. La superficie desservie par les eaux souterraines est estimée à 1 250 000 km² (Siebert et al. 2013), dont la majeure partie est alimentée par des énergies non renouvelables. Cela s'ajoute à la prolifération du pompage sous tension pour la distribution et le drainage dans les systèmes d'irrigation de surface.

Le secteur de l'agriculture se taille la plus grosse part de l'utilisation mondiale d'eau, mais la concurrence des autres secteurs ralentit l'augmentation des allocations d'eau douce au secteur agricole. La base de référence mondiale tirée des statistiques agrégées déclarées pour l'année 2010 a estimé les prélèvements destinés à l'agriculture à 2 769 km³/an, en hausse par rapport à une estimation de 2 300 km³/an en 1990 (AQUASTAT, 2014) (voir figure 15).

L'expansion et l'intensification de la production agricole sur les terres irriguées sont le principal moteur de la demande en eau destinée à l'agriculture. Au niveau local, l'agroforesterie et le stockage de l'eau pour le bétail et l'aquaculture ont également eu une incidence sur les comptes des bassins hydrographiques et des zones de captage d'eau. *L'Évaluation globale de la gestion de l'eau pour l'agriculture* (2007) et le rapport *Gestion des systèmes à risque* (*Managing Systems at Risk*) (FAO, 2011a) ont mis en évidence

Tableau 6.1 Typologie des effets des changements climatiques sur la gestion de l'eau dans les principaux systèmes agricoles

Système	État actuel	Moteurs de changements climatiques	Vulnérabilité	Adaptabilité	Possibilité de réponse
1 Système de fonte de neige					
Indus	Très développé, pénurie d'eau commence à apparaître. Contraintes en matière de sédiments et de salinité.	20 ans de flux accrus suivis d'une diminution importante de l'eau de surface et de la recharge des nappes phréatiques. Variations saisonnières du ruissellement et du débit de pointe. Débits de pointe et inondations accrus. Salinité accrue. Productivité en baisse dans certains lieux.	Très élevée (au fil de l'eau) ; Intermédiaire à élevée (barrages).	Marge de manoeuvre limitée (toutes les infrastructures sont déjà en place).	Gestion de l'approvisionnement en eau : meilleure capacité de stockage et de drainage des eaux ; meilleur fonctionnement des réservoirs ; changements dans l'utilisation des cultures et des terres ; meilleure gestion des sols ; gestion de la demande en eau, notamment la gestion des eaux souterraines et le contrôle de la salinité.
Gange Brahmapoutre	Potentiel élevé d'utilisation des eaux souterraines, problèmes reconnus de qualité de l'eau. Faible productivité.		Élevée (baisse des surfaces de saturation).	Intermédiaire (le développement des eaux souterraines est toujours possible).	
Chine du Nord	Pénurie d'eau extrême et productivité élevée.		Élevée (répercussions mondiales, demande en nourriture élevée et grande influence sur les coûts).	Intermédiaire (l'adaptabilité est en hausse en raison d'une richesse croissante).	
Fleuves Rouge et Mékong	Productivité élevée, risque élevé d'inondation, mauvaise qualité de l'eau.		Intermédiaire.	Intermédiaire.	
Colorado	Pénurie d'eau, salinité.		Faible.	Intermédiaire (pression excessive sur les ressources).	
2 Deltas					
Gange Brahmapoutre	Densément peuplé. Eaux souterraines peu profondes, très utilisées. Adaptation des sols possible ; faible productivité.	Élévation du niveau de la mer. Ondes de tempête et endommagement des infrastructures. Cyclones plus fréquents (Asie de l'Est et du Sud-Est) ; intrusion de sel dans les eaux souterraines et les rivières ; fréquence accrue des inondations. Augmentation potentielle de la recharge des nappes phréatiques.	Très élevées (inondations, cyclones).	Faible, à l'exception de la salinité.	Minimiser le développement des infrastructures ; utiliser conjointement les eaux de surface et les eaux souterraines ; gérer les zones côtières.
Bassin du Nil	Delta très dépendant du ruissellement et du barrage d'Assouan – possibilité de développement en amont.		Élevée (pression de la population).	Intermédiaire.	
Fleuve Jaune	Pénurie d'eau sévère.		Élevée.	Faible.	
Fleuve Rouge	Actuellement adapté mais irrigation par pompage et drainage coûteux.		Intermédiaire.	Élevée à l'exception de la salinité.	
Mékong	Utilisation adaptée des eaux souterraines dans le delta ; potentiel de développement en amont.		Élevée.	Intermédiaire.	
3 Tropiques semi-arides ou arides : fonte de neiges et eaux souterraines limitées					
Mousson : Sous-continent indien	Faible productivité. Bassin surdéveloppé (eaux de surface et souterraines).	Précipitations accrues. Variabilité accrue des pluies. Sécheresses et inondations accrues. Températures plus élevées. Variabilité accrue des précipitations. Fréquence accrue des sécheresses et inondations. Précipitations moins fréquentes, températures plus élevées. Diminution du ruissellement.	Élevée.	Faible (irrigation de surface) ; intermédiaire (irrigation souterraine).	Problème de stockage ; recharge et utilisation des eaux souterraines renforcées ; agriculture à forte valeur ajoutée (Australie).
En dehors des pluies de mousson : Afrique subsaharienne	Sols pauvres ; courants vite inondables mais revenant très vite à la normale après les précipitations ; surallocation d'eau ; pression de la population dans certains lieux. Insécurité alimentaire généralisée.		Très élevée. Récoltes en baisses dans les systèmes dépendant des eaux de pluie. Volatilité accrue de la production.	Faible.	
En dehors de la mousson : Australie du Sud et occidentale	Courants vite inondables mais revenant très vite à la normale après les précipitations ; surallocation de l'eau ; compétition provenant d'autres secteurs.		Élevée.	Faible.	

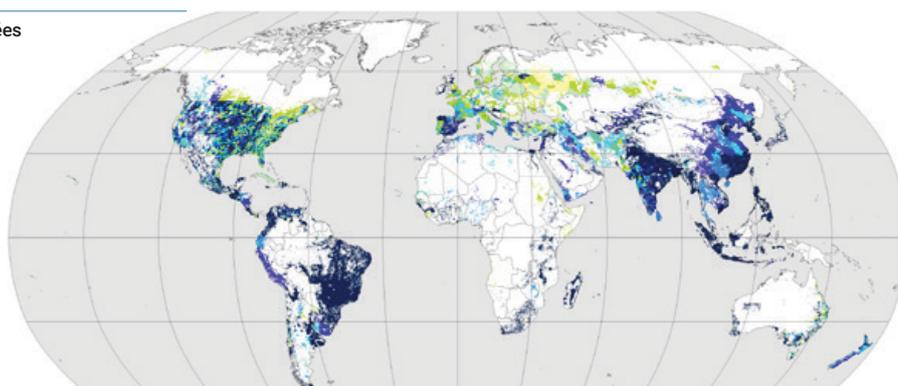
Système	État actuel	Moteurs de changements climatiques	Vulnérabilité	Adaptabilité	Possibilité de réponse
4 Tropiques humides					
Riziculture : Asie du Sud-Est	Irrigation de surface. Productivité élevée mais en stagnation.	Précipitations accrues. Températures légèrement plus élevées. Variabilité accrue des précipitations et apparition de sécheresses et inondations.	Élevée.	Intermédiaire.	Stockage accru pour la deuxième et troisième saison ; assurances contre les sécheresses et les inondations ; diversification des cultures.
Riziculture : Chine du Sud	Utilisation conjointe d'eaux de surface et souterraines. Résultat faible comparé à la Chine du Nord.		Élevée.	Intermédiaire.	
Riziculture : Nord de l'Australie	Écologie fragile.		Faible.	Élevée.	
Autre que la riziculture : irrigation de surface et souterraine			Intermédiaire.	Intermédiaire.	
5 Régions tempérées					
Europe du Nord	Agriculture et pâturage à forte valeur ajoutée.	Précipitations accrues ; saisons de croissance plus longues ; productivité renforcée.	Irrigation de surface : intermédiaire ; irrigation souterraine : faible.	Irrigation de surface : faible ; irrigation souterraine : élevée.	Potential de nouveau développement. Développement du stockage ; drainage.
Amérique du Nord	Culture céréalière ; irrigation souterraine.	Ruissellement réduit, stress hydrique renforcé.	Intermédiaire.	Intermédiaire.	Productivité et résultats améliorés ; options de stockage limitées.
6 Méditerranée					
Europe du Sud	Pénurie d'eau importante.	Précipitations plus faibles et températures plus élevées, stress hydrique renforcé, ruissellement réduit.	Intermédiaire.	Faible.	Irrigation localisée, transfert vers d'autres secteurs.
Afrique du Nord	Pénurie d'eau importante.		Élevée.	Faible.	Irrigation localisée, irrigation complémentaire.
7 Petites îles					
Petites îles	Écosystèmes fragiles, diminution de la nappe phréatique.	Élévation du niveau de la mer ; intrusion d'eau salée ; fréquence accrue de cyclones et de tempêtes.	Élevée.	Variable.	Contrôle de la diminution de la nappe phréatique ; gestion de la demande en eau.

Source : FAO (2011b, tableau 4.2, p. 73-74).

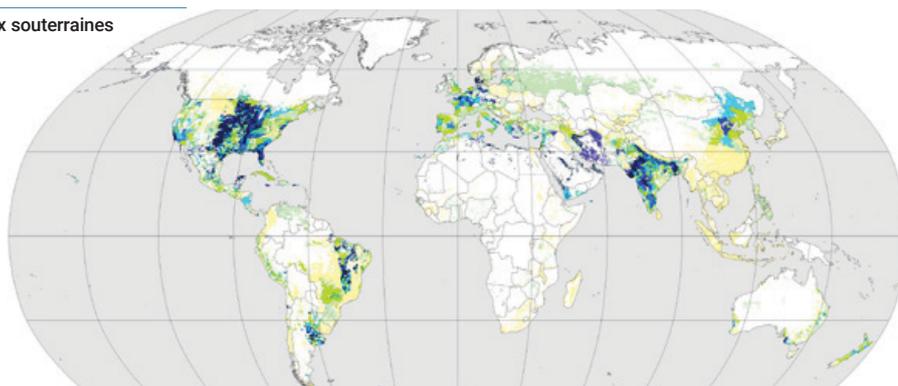
des indices de plus en plus nombreux de la fermeture de bassins fluviaux et de la rupture de systèmes agricoles à grande échelle, notamment les deltas irrigués et les plaines alluviales qui dépendent des eaux souterraines. Dans le cas de la production irriguée, l'évaporation supplémentaire allant au-delà des taux naturels a été calculée par Hoogeveen et al. (2015) à 1 268 km³/an, soit une efficacité globale de l'application d'irrigation d'environ 50 % par rapport à des prélèvements d'eau de 2 769 km³/an. La différence entre les prélèvements dans les eaux de surface et les eaux souterraines et les volumes consommés par évaporation bénéfique (la transpiration, le refroidissement et la suppression des mauvaises herbes) est soit recyclée par les flux de retour ou la recharge des aquifères, soit perdue par évaporation non bénéfique à partir des canaux et du stockage hors ligne ou des marges drainées des systèmes d'irrigation. Si la gestion des terres de culture pluviale (y compris les pâturages) a en général des effets neutres sur les processus d'évaporation, l'impact sur les processus de ruissellement et de recharge directe peut être important, si le travail du sol et le compactage endommagent la structure du sol, entraînant ainsi une perte de la capacité d'infiltration et de rétention de l'humidité du sol.

Figure 6.1 Pourcentage de la superficie équipée pour l'irrigation

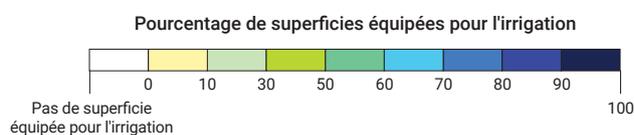
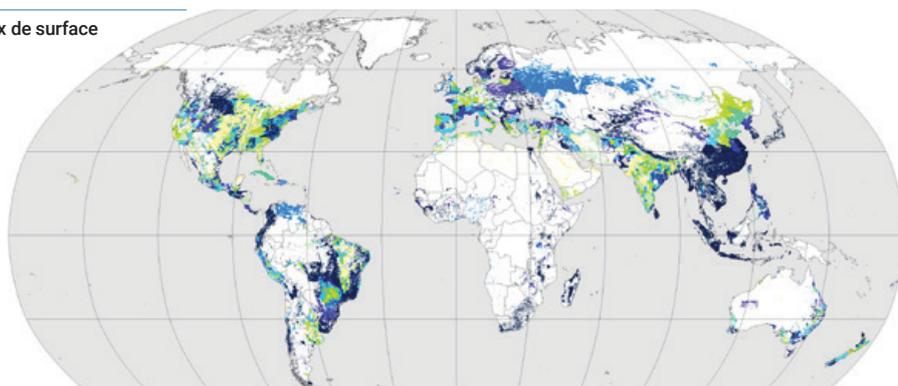
a) Superficies effectivement irriguées



b) Superficies irriguées par les eaux souterraines



c) Superficies irriguées par les eaux de surface



Source : FAO-AQUASTAT/Universität Bonn (2013).

Les taux de croissance annuels des superficies équipées pour l'irrigation ont connu une baisse, comme l'indiquent les statistiques agricoles jusqu'en 2016 (Seibert et al., 2015 ; FAO, 2017a). La croissance est néanmoins positive et dans cette zone en expansion, l'intensification de la consommation d'eau est de plus en plus manifeste grâce à l'augmentation du rythme des cultures et à l'adoption de la technologie d'irrigation correspondant aux grandes cultures et aux conditions de culture, notamment le goutte-à-goutte sous pression et les méthodes d'arrosage. Cependant, l'hypothèse selon laquelle l'adoption de la technologie d'irrigation entraînera une réduction des prélèvements d'eau serait sans fondement. Les

données recueillies dans le cadre d'initiatives nationales visant à « économiser » les ressources en eau par l'introduction de l'irrigation sous pression suggèrent que l'effet est tout à fait inverse et que l'adoption de la technologie d'irrigation tend à étendre les zones irriguées et à augmenter le taux de consommation d'eau (Perry et al., 2009 ; Lopez-Gunn et al., 2012 ; Scott et al., 2014 ; Molle et Tanouti, 2017 ; Grafton et al., 2018). Cette augmentation des prélèvements d'eau à des fins agricoles par rapport aux technologies d'irrigation de pointe a été observée dans les comptes d'eau des bassins fluviaux et, en particulier, dans l'épuisement des réserves aquifères confinées et non confinées (Molle et Wester, 2009).

Le rôle des eaux souterraines dans l'agriculture et le développement rural est souvent sous-évalué

Le rôle des eaux souterraines dans l'agriculture et le développement rural est souvent sous-évalué (AIH, 2019). La compétition économique pour les eaux souterraines de haute qualité de la part d'autres secteurs, notamment l'industrie et les approvisionnements municipaux, a des répercussions sur les zones rurales adjacentes (Flörke et al., 2018), où des millions de petits exploitants dépendent de l'accès à la circulation des eaux souterraines peu profondes pour atténuer les récessions de la saison sèche et les effets des périodes prolongées de sécheresse. L'étendue des structures d'extraction des eaux souterraines peu profondes et profondes, ainsi que des structures de petits barrages à des fins d'irrigation, d'aquaculture et d'abreuvement du bétail, n'est pas systématiquement répertoriée aux niveaux infranationaux, d'où le caractère incertain des estimations des superficies équipées pour l'irrigation et des prélèvements d'eau dans les zones effectivement irriguées (Seibert et al., 2015).

L'empreinte eau du bétail ne se limite pas à l'évapotranspiration sur les pâturages, mais implique désormais de systèmes d'approvisionnement en eau étendus pour l'abreuvement et le refroidissement des animaux vivants ainsi que des systèmes d'irrigation pour la production de fourrage et de concentré de protéines importées (notamment le soja) ou de céréales (aliments pour volaille) (Mekonnen et Hoekstra, 2012 ; Ray et al., 2015). Les estimations de croissance de la production de viande à l'horizon 2030 sont remarquables : on prévoit une augmentation de 77 % de la production de viande bovine, porcine, ovine et de volaille pour les pays en développement, et une augmentation de 23 % par rapport aux niveaux de 2015–17 pour les pays développés (FAO, 2017a). Le groupe des non-ruminants (cochons et volaille) devrait connaître les taux de croissance les plus élevés. Face à cette croissance attendue, l'on doit tenir compte de l'étendue des pâturages et de leur vulnérabilité face à la sécheresse, car les substituts alimentaires (soja et céréales) sont principalement des cultures pluviales et risquent d'être touchées, à moins que la production ne soit tamponnée par l'irrigation. Le modèle de parc d'engraissement à pâturage zéro avec des légumineuses et des graminées irriguées est utilisé aux États-Unis et au Moyen-Orient, mais il se répand aussi de plus en plus dans les climats semi-arides et tempérés où les pâturages seraient autrement endommagés en cas de sécheresse et d'inondation. Étant donné que la consommation de protéines animales et de produits laitiers entraîne une croissance de la population d'animaux d'élevage (Gerber et al., 2013 ; FAO, 2017a), la production de résidus de denrées alimentaires/de fourrage/de cultures (dans les systèmes pluviaux et irrigués) associée à la consommation directe d'eau de surface et d'eau souterraine pour l'abreuvement et le refroidissement du bétail entraîne une augmentation continue des prélèvements d'eau par le secteur de l'élevage.

La production des pêches de capture continentales est estimée à près de 12 millions de tonnes (FAO, 2018c), la plus grande partie de la production provenant d'Asie, de Chine et d'Afrique (FAO, 2018d) et issue de lacs, de rivières, de zones humides et de l'aquaculture. Les pêches continentales peuvent être enrichies en nutriments grâce au ruissellement agricole, mais elles sont également extrêmement sensibles à l'eutrophisation, à la pollution, à la dégradation de l'habitat et à l'interruption des flux d'eau (FAO, 2018d). Les pêches de capture continentales ainsi que les systèmes d'aquaculture en eau douce (y compris les systèmes riz-poisson) sont de plus en plus soumis à des contraintes liées aux charges de pollution et à la gestion hydraulique des voies navigables et des masses d'eau intérieures, notamment les barrages et les réservoirs créés pour les systèmes d'irrigation, les moteurs hydroélectriques, ainsi que les demandes et les ruissellements d'eau destinée à l'agriculture. Dans l'ensemble, les combinaisons de débit réduit, de concentrations plus élevées de polluants et de températures plus élevées ont un impact considérable sur la mortalité des poissons (FAO, 2018d). Cette situation est préoccupante, car les écosystèmes d'eau douce ont une capacité tampon relativement faible par rapport aux écosystèmes marins et sont donc relativement sensibles aux chocs climatiques (FAO, 2018d).

On estime que la production de biocarburants (éthanol et biodiesel) n'a qu'une faible incidence (1,7 %) sur les prélèvements d'eau destinée à l'agriculture (De Fraiture et al., 2008), car l'essentiel de la matière première de la canne à sucre est d'origine pluviale. Les estimations de croissance sont également timides (OCDE/FAO, 2019) compte tenu de l'effet des mélanges de carburant actuels dans les principaux pays producteurs et de la baisse des prix du pétrole brut au niveau mondial. L'irrigation des biocarburants (notamment de la canne à sucre et de la betterave à sucre) nécessite une comptabilité prudente de l'eau et de l'énergie pour établir les avantages techniques nets de la compensation de la consommation de combustibles fossiles et des émissions qui en résultent (voir encadré 9.1).

Le choix des cultures et les calendriers de culture se sont parfaitement adaptés aux conditions météorologiques relativement stables

Avec l'augmentation de la production agricole (par rapport à la terre et à l'eau), le choix des cultures et les calendriers de culture se sont parfaitement adaptés aux conditions météorologiques relativement stables. Lorsque la production agricole de grande valeur est limitée par la température et l'aridité, on a recours à une production de précision « à l'intérieur » pour minimiser l'effet de la variabilité climatique. Ces zones irriguées sous filets d'ombrage, paillis plastiques et serres sont en pleine expansion, et leur prolifération dans la Méditerranée et dans le nord de la Chine est telle que le rejet du plastique et des résidus de plastique dans les sols a maintenant des effets externes sur l'environnement (Gao et al., 2019). L'adaptation à des températures plus élevées a également une influence sur toutes les formes de production animale, avec une production intensive « à l'intérieur » qui stimule la demande de fourrage irrigué et de céréales fourragères, tout en concentrant la demande ponctuelle d'énergie et d'eau ainsi que les sources ponctuelles de pollution par les déchets animaux (Gerber et al., 2013).

6.3 Rôle de la gestion de l'eau destinée à l'agriculture dans l'adaptation

6.3.1 Portée de l'adaptation

Diverses approches et technologies d'adaptation visant à maintenir les niveaux de production agricole en fonction des manifestations du réchauffement et des changements des régimes de précipitation sont encouragées dans le cadre de l'AIC (encadré 6.1).

Les possibilités de l'adaptation en agriculture pluviale sont largement déterminées en grande partie par la capacité des variétés de cultures à faire face aux variations de température et à gérer les déficits d'eau du sol. Le conditionnement des sols visant à optimiser la rétention de l'humidité peut faire intervenir de nombreuses techniques agricoles de conservation, notamment le semis direct et le paillage de surface avec des résidus de culture, qui augmenteront de façon temporaire le carbone organique du sol. Dans les cas du semis de plantes racines sous des latitudes tempérées, l'utilisation du paillis plastique est utilisée de manière courante pour protéger les cultures précoces contre le gel et de retenir l'humidité du sol en prévenant la perte par évaporation dans l'atmosphère. La sélection des plantes (pour la tolérance à la sécheresse, l'inhibition de la verse), les ajustements du calendrier de culture (phénologique), le choix des éléments nutritifs et la protection spécifique des plantes/la lutte antiparasitaire intégrée constituent des éléments supplémentaires de l'AIC pouvant être appliqués. Bien entendu, les risques climatiques subsistent en ce qui concerne l'agriculture pluviale. Peu importe la quantité de terre et la préparation du sol, si les précipitations ne suffisent pas à assurer des déficits acceptables d'humidité du sol pendant la saison de culture, le rendement sera médiocre et les chances de répéter l'initiative faibles. On constate ainsi combien il est important de communiquer les prévisions saisonnières et quotidiennes aux petits exploitants qui investissent directement dans la préparation des terres, les variétés de semences améliorées et les engrais.

L'irrigation permet de modifier et d'intensifier les calendriers de culture, offrant ainsi un mécanisme d'adaptation clé pour les terres qui ne dépendaient auparavant que des précipitations (c'est-à-dire des cultures pluviales) (encadré 6.3). Ici, l'adaptation peut simplement consister en l'accélération des améliorations de performance prévues (modernisation du matériel et des logiciels) pour améliorer l'efficacité des services de distribution d'eau et de drainage. Ce sont des options dites « sans regret » détaillées dans la littérature sur l'irrigation et le drainage (par exemple, FAO, 2011b ; De Vries et al., 2017),

dont l'intégration d'un système redondant de protection contre les dommages causés par les inondations et d'amélioration des débits de recharge et de retour. L'adaptation sur site à des températures plus élevées et à l'évaporation consiste essentiellement soit en l'ombrage par filet soit en la plantation d'arbres d'ombrage (y compris les cultures intercalaires ou l'agroforesterie).

6.3.2 Mesures pratiques de gestion de l'eau destinée à l'agriculture pouvant être appliquées à différentes échelles

Les éléments de l'AIC relatifs à l'eau ont été regroupés en un ensemble de techniques de gestion des terres et de l'eau qui permettent de préserver la teneur en humidité du sol pendant la saison de culture et qui peuvent être mises en œuvre à l'échelle locale comme un ensemble de mesures liées au climat (figure 6.2) (Aggarwal et al., 2018). L'irrigation de précision sous de nombreuses formes de contrôle climatique (filet d'ombrage, paillis plastique et serres) et l'utilisation délibérée de l'irrigation déficitaire pour améliorer la qualité des produits horticoles sont largement pratiquées. Le recours à l'énergie solaire pour remplacer le diesel ou le pompage à l'essence se fait maintenant à grande échelle, en particulier lorsque cette méthode est subventionnée (Shah et al., 2018). Plusieurs des réponses applicables à l'échelle locale sont des pratiques agronomiques standard pour le climat dominant, mais elles sont simplement « ajustées » ou planifiées en fonction de la qualité et la fréquence plus élevées des informations agrométéorologiques.

Quels sont les changements d'approche qui peuvent renforcer ces réponses adaptatives ? L'un des domaines clés favorisant le développement des ressources en eau et de l'agrométéorologie est l'élaboration de produits d'information opérationnels pouvant être appliqués à diverses échelles et liés à la surveillance sur le terrain par les agriculteurs eux-mêmes. Il s'agit notamment de ce qui suit :

- Les prévisions climatiques saisonnières pour les mois et les années à venir sont maintenant largement répandues (OMM, 2016). Des prévisions climatiques opportunes, exploitables et fiables peuvent jouer un rôle crucial dans la prise de décisions à court et à long terme pour les agriculteurs. Le choix des dates de semis et des calendriers de culture saisonniers pour les variétés à rendement élevé offre un niveau d'ajustement de précision dans la planification du secteur économique qui dépend le plus des conditions météorologiques (CIE, 2014).

Figure 6.2 Réponses de l'agriculture intelligente liées à l'eau au niveau local

Intelligent face à la météo	Intelligent face à l'eau	Intelligent face aux semences/aux espèces	Intelligent face au carbone/aux nutriments	Intelligent face aux institutions/au marché
 <ul style="list-style-type: none"> • Prévisions météorologiques • Conseils en agriculture • Assurance météorologique • Analogues climatiques • Adaptation inadéquate évitée 	 <ul style="list-style-type: none"> • Recharge des aquifères • Collecte des eaux de pluie • Gestion communautaire de l'eau • Nivellement au laser • Gestion de l'eau dans les exploitations agricoles • Pompes solaires 	 <ul style="list-style-type: none"> • Variétés adaptées • Espèces adaptées • Banque de semences 	 <ul style="list-style-type: none"> • Agroforesterie • Travail minimal du sol • Système d'utilisation des terres • Gestion du bétail • Gestion intégrée des nutriments • Biocombustibles 	 <ul style="list-style-type: none"> • Liens intersectoriels • Institutions locales • Stratégie pour l'égalité des genres • Planification des interventions d'urgence • Services financiers • Informations commerciales • Gestion des risques hors des exploitations agricoles

Source : Adapté d'Aggarwal et al. (2018, fig. p. 3). Photos : Météo intelligente : © FAO/Marco Palombi ; Eau intelligente : © FAO/A. Brack ; Semences/espèces intelligente : © FAO/Sia Kambou ; Carbone/nutriment intelligente : © FAO/Eduardo Soterias and ; Institutions/marché intelligente : © FAO/Daniel Hayduk.

Encadré 6.3 Le potentiel d'irrigation déficitaire et d'appoint sous l'effet de la variabilité climatique dans une zone semi-aride : Le cas d'une savane au Togo

Dans un contexte de croissance démographique en Afrique de l'Ouest et de pertes de rendement fréquentes dues à des précipitations irrégulières, il devient indispensable de renforcer la stabilité et d'améliorer la productivité des systèmes de production agricole, par exemple en introduisant et en évaluant le potentiel d'autres stratégies d'irrigation pouvant être appliquées dans cette région. À cet effet, un ensemble de stratégies de gestion de l'irrigation, allant de l'absence d'irrigation (NI) à l'irrigation déficitaire contrôlée (CDI) et à l'irrigation intégrale (FI), ont fait l'objet d'une évaluation dans une savane sèche du Togo. Les résultats indiquent une variabilité élevée des précipitations pendant la saison humide, ce qui conduit à une variabilité considérable du rendement prévu pour les conditions pluviales (NI). Cette variabilité a considérablement diminué lorsqu'avec l'introduction de l'irrigation supplémentaire afin de combler les déficits de pluie aux points critiques du développement des plantes, ce qui a nécessité une demande d'eau raisonnablement faible d'environ 150 mm. En contexte de saison sèche, il a été démontré que les deux stratégies de gestion de l'irrigation (CDI et NI) ont augmenté le potentiel de rendement des variétés locales de maïs avec jusqu'à 4,84 tonnes/ha et ont diminué en même temps la variabilité du rendement escompté. Cependant, l'introduction de l'irrigation à partir de la méthode CDI nécessiterait plus de 400 mm d'eau pendant la saison sèche au nord du Togo. Une importante infrastructure de collecte des eaux de pluie et d'irrigation serait donc nécessaire pour introduire une irrigation complète pendant la saison sèche, ce qui souligne le risque lié au coût des intrants dans la compensation des déficits de précipitations.

Source : Extrait de Gadédjisso-Tossou et al. (2018).

- Les renseignements météorologiques en temps quasi réel sont maintenant aisément accessibles, ce qui permet aux agriculteurs de prendre des décisions concernant la protection des cultures (précipitations dévastatrices, gel, maladie) et la couverture d'assurance-récolte. Ces types de services sont déployés dans les zones où les réseaux de téléphonie mobile s'étendent dans les zones rurales (Asie et Asie du Sud-Est en particulier).
- Sur le terrain, la technologie de surveillance *in situ* de l'humidité du sol progresse grâce au déploiement de capteurs électromagnétiques à faible coût et en combinaison avec des techniques de télédétection à haute résolution (Manfreda et al., 2018). Bien que la technologie actuelle ne s'applique qu'aux projets de recherche ou d'agriculture de précision de grande valeur, le déploiement de la surveillance en temps réel de l'humidité du sol afin de planifier l'irrigation devrait diminuer en termes de coûts.
- L'intégration de la comptabilité opérationnelle de l'eau dans l'AIC a déjà permis d'établir un lien entre la budgétisation de l'eau pour l'agriculture locale et les régimes d'hydrologie et de recharge au niveau du bassin. Toutefois, pour une gestion de l'eau efficace à l'échelle donnée, il est essentiel d'établir un lien avec les programmes agronomiques tels que la lutte antiparasitaire intégrée, la vermiculture et l'intensification du riz à l'échelle des champs. Les données issues d'initiatives connexes indiquent que les agriculteurs sont disposés à utiliser des services et des informations agrométéorologiques améliorés et à participer à la collecte de données agrométéorologiques locales. La comptabilité plus élaborée de l'eau au niveau du système d'irrigation et du sous-bassin, à l'aide de viaducs satellites périodiques, permet l'évaluation de la consommation d'eau et des performances d'irrigation, ainsi que la réglementation des droits d'utilisation de l'eau. Le portail WaPOR¹⁰ de la FAO et l'approche Water Accounting¹¹ de l'Institut international de gestion de l'eau (IWMI) se sont révélés être des outils efficaces. Les comparaisons saisonnières aident déjà les gouvernements nationaux à adapter leurs politiques d'utilisation de l'eau.
- La planification des investissements dans la gestion de l'eau agricole est désormais beaucoup plus susceptible d'évaluer les risques climatiques. Des méthodes de prise de décisions pour gérer les risques à la base sont adoptées en évaluant les « points de rupture », en particulier les systèmes agricoles dépendant des infrastructures hydrauliques (Banque mondiale, 2016b).

¹⁰ www.fao.org/in-action/remote-sensing-for-water-productivity/en/

¹¹ www.wateraccounting.org/index.html

Au-delà de la génération d'informations pertinentes et des ajustements logiciels/matériels dans les systèmes d'irrigation existants, l'utilisation d'eau saline et d'eaux usées, traitées à des niveaux appropriés, est employée en fonction des techniques agronomiques et des dispositions réglementaires (voir le chapitre 3). Bien que les systèmes de dessalement soient énergivores, la baisse des coûts marginaux a déclenché l'utilisation de l'irrigation lorsqu'il n'existe pas de solution de recharge pour l'eau douce et que les marchés pour les produits horticoles en début de saison sont favorables. L'utilisation de systèmes de traitement des eaux usées est largement employée (FAO, 2010) lorsqu'elle peut être conforme à la réglementation en matière de biosécurité, par exemple en limitant l'utilisation aux fourrages irrigués (voir le chapitre 5). En outre, la réutilisation des eaux usées partiellement traitées en agriculture augmente l'approvisionnement dans les régions où l'eau est rare et fournit également des nutriments végétaux.

Tous les processus d'adaptation comportent des compromis hydro-environnementaux et économiques. Par exemple, l'épuisement des réserves d'eaux souterraines et la dégradation de la qualité de l'eau résultant des débits de retour se concentrent de plus en plus sur les terres irriguées (Böhlke, 2002 ; FAO/IWMI, 2018). L'avenir des producteurs marginaux, en particulier des petits exploitants dans les zones semi-arides, où les ressources en capitaux et l'accès à des solutions basées sur le marché, comme l'assurance récolte, sont limités, constitue également une source de préoccupation. Des techniques traditionnelles de captage des précipitations et l'amélioration de la recharge des aquifères, y compris les barrages de sable, peuvent être utilisées à la fois dans le cadre de l'approvisionnement en eau rurale et du développement de la production irriguée. Ces interventions dans les régions éloignées nécessitent en général une importante main-d'œuvre et peuvent donc convenir aux programmes locaux de création d'emplois (OIT, 2019). La mise en œuvre de ces techniques associées à d'autres mesures de préservation des sols permet d'étendre la disponibilité de l'humidité du sol pour une couverture des périodes critiques de développement des cultures (par exemple la floraison). Cependant, sans accès aux aquifères locaux qui ne se drainent pas pendant les récessions de la saison sèche, ces mesures présentent tout de même des risques intrinsèques dans l'éventualité où les précipitations annuelles ne permettent pas la reconstitution des aquifères.

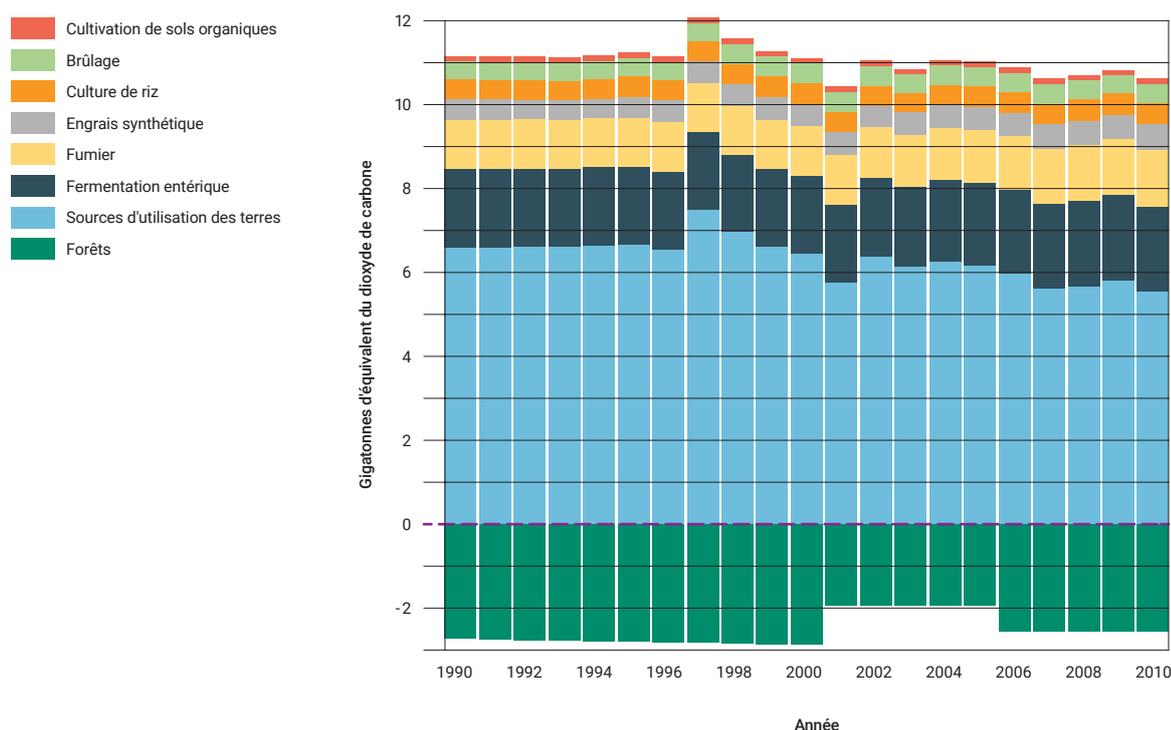
Les opportunités d'adaptation dépendent de l'échelle de mise en œuvre. Il est donc important de faire la différence entre les systèmes de production caractérisés par des producteurs commerciaux à grande échelle dans des secteurs alimentaires et fourragers spécifiques, et des millions de petits exploitants divers ayant un accès à l'eau très inégal et variable. Les coûts d'investissement nécessaires peuvent être nuls dans de nombreux cas, par exemple pour les ajustements du calendrier de culture. Dans d'autres cas, par exemple la protection globale des systèmes d'irrigation pour faire face à des inondations extrêmes, investir dans des infrastructures supplémentaires de contrôle de l'eau peut s'avérer nécessaire. Le mode de financement du coût supplémentaire de l'adaptation par les investissements individuels des agriculteurs, les subventions de l'État ou les dépenses en capital dans le cadre du développement rural est une question politique qui doit être conforme aux interventions techniques. D'un point de la gestion des ressources en eau, la principale préoccupation est de savoir si ce niveau d'investissement réduit à long terme les risques liés aux ressources en eau pour les producteurs agricoles et tous les utilisateurs des services environnementaux liés à l'eau.

6.4 Émissions de GES issues de l'agriculture, des forêts et d'autres utilisations de la terre

Selon le Résumé à l'intention des décideurs du GIEC : « *Les activités agricoles, forestières et les autres utilisations de la terre (AFAUT) ont représenté environ 13 % des émissions de CO₂, 44 % des émissions de méthane (CH₄) et 82 % des émissions d'oxyde nitreux (N₂O) provenant des activités humaines au niveau mondial pendant la période 2007-2016, soit 23 % (12,0 +/- 3,0 GtCO₂e/an) des émissions anthropiques nettes totales de GES (confiance moyenne)* » (GIEC, 2019b, p. 7).

La part relative des émissions de GES issues de l'agriculture est passée d'environ 30 % à la fin du 20^e siècle à environ 25 à 20 % en 2010, principalement en raison de la forte augmentation des émissions provenant du secteur de l'énergie (FAO, 2017a). La Figure 6.3 présente la répartition des émissions du « secteur » AFAUT. La croissance de la biomasse dans les zones forestières élimine les GES de l'atmosphère et apporte une contribution nette positive d'environ 2 Gt/an à la séquestration du carbone, qui se traduit

Figure 6.3 Émissions issues des secteurs de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres, en GtCO₂



Remarque : Le « fumier » comprend le « fumier laissé au pâturage », la « gestion du fumier » et le « fumier appliqué aux sols » ; le « brûlage » comprend le « brûlage - résidus de culture », le « brûlage - savane » et les « résidus de culture ».

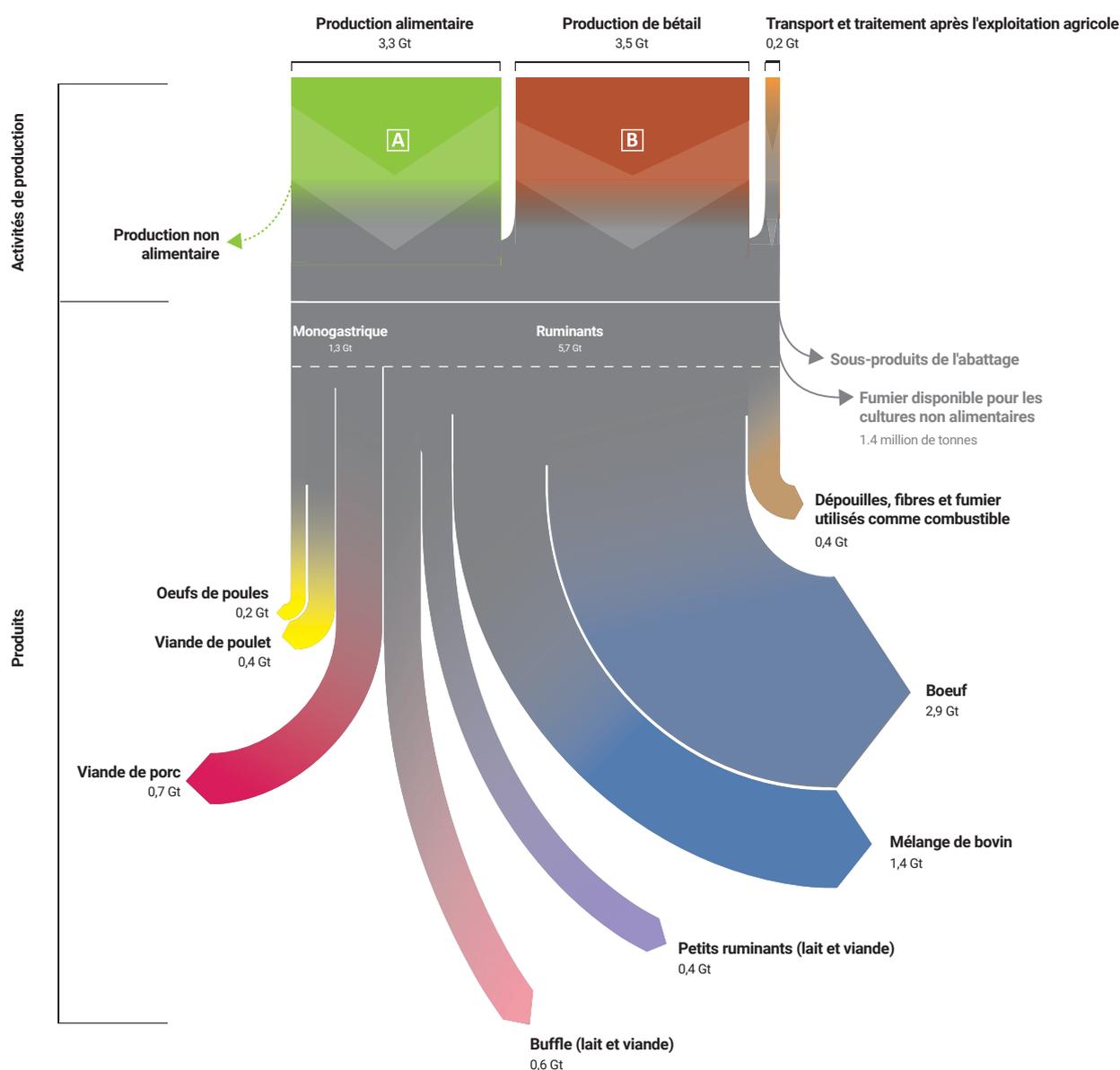
Source : FAO (2017a, fig. 4.1, p. 40).

par une émission négative dans la figure 6.3. Cependant, l'élimination des GES par les zones forestières semble être passée de 2,8 Gt/an dans les années 1990 à 1,8 Gt/an d'ici 2014, en raison de l'accélération du brûlage et de la conversion des terres forestières pour le pâturage, l'huile de palme et les céréales de base (FAO, 2016a).

On estime que l'agriculture (excepté la foresterie et les autres utilisations de la terre) apporte une contribution nette d'environ 6,2 GtCO₂e, ce qui représente entre 10 et 12 % des émissions anthropiques totales de GES, estimées à environ 51 GtCO₂e/an (GIEC, 2019b). Néanmoins, les émissions nettes issues du secteur de l'agriculture devraient continuer à augmenter. Suivant des voies de développement plausibles, l'agriculture ne devrait atteindre qu'entre 21 à 40 % de la réduction supposée d'environ 1 GtCO₂e/an d'ici 2030 en vue de réaliser l'objectif de l'Accord de Paris de 2015 de la CCNUCC (qui est de 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels) d'ici à 2030 (Wollenberg et al., 2016). La Figure 6.4 montre l'importance de la fermentation entérique du bétail en tant que source de méthane dans les émissions de GES (Gerber et al., 2013). Les tendances des émissions de GES des chaînes mondiales d'élevage montrent des différences claires entre les activités de production et les produits.

Les risques de drainage des zones humides naturelles et des forêts de zones humides pour les convertir en cultures sèches ou en plantations de palmiers sont bien réels. Des recherches récentes ont confirmé le rejet du carbone stocké dans les accumulations de tourbières des zones humides en Asie du Sud-Est à la suite d'incendies délibérés visant à défricher les terres en vue du développement des plantations (Wiggins et al., 2018). La cartographie au radar optique à haute résolution a fait ressortir l'influence du drainage sur l'exposition des sols tourbeux liée au risque de combustion (Konecny et al., 2016). Mais la combustion de la tourbière peut également libérer du carbone sur les sols organiques drainés aux latitudes tempérées. La gestion du drainage est donc un domaine qui ne doit pas être ignoré, surtout si l'on tient compte de la productivité des zones humides et des forêts de zones humides.

Figure 6.4 Émissions de gaz à effet de serre des filières d'élevage mondiales de bétail



Source : Gerber et al. (2013, fig. 5, p. 18).

6.5 Rôle de la gestion de l'eau destinée à l'agriculture dans l'atténuation des impacts des changements climatiques

6.5.1 Portée de l'atténuation

En agriculture, il existe deux principaux moyens d'atténuer les GES : la séquestration du carbone par l'accumulation de biomasse au-dessus et au-dessous du sol et la réduction des émissions par la gestion des terres et de l'eau, y compris l'adoption d'intrants d'énergie renouvelable comme le pompage solaire. Les pratiques agronomiques visant à atténuer les émissions de GES sont principalement liées au boisement et au contrôle du drainage des sols organiques qui, autrement, pourraient se décomposer ou même brûler s'ils sont abondamment drainés et défrichés par le brûlage. Les deux interventions ont des conséquences directes sur la gestion de l'eau.

Le potentiel d'atténuation le plus important du secteur de la foresterie devrait provenir de la réduction des émissions attribuables au déboisement et à la dégradation des forêts. Plus de 90 % des résultats nationaux de REDD+ (Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement) communiqués à la CCNUCC proviennent de la réduction de la déforestation (FAO, 2016a). La séquestration progressive du carbone provenant du boisement et du reboisement devrait à long terme maintenir un niveau d'atténuation similaire (Griscom et al., 2017).

Toutefois, en termes de tonnes équivalentes de CO₂, la plus grande contribution aux émissions de GES du secteur agricole provient du rejet de méthane du bétail par fermentation entérique et du fumier déposé sur les pâturages – environ 3,5 Gt CO₂/an (voir la figure 6.3). Dans le cadre de la gestion de l'eau, il n'est peut-être pas immédiatement évident que les grands pâturages pluviaux constituent un problème. Toutefois, les tendances à la pratique du pâturage zéro pour le bétail, en particulier dans le Midwest des États-Unis et au Moyen-Orient, entraînent déjà une concentration de la demande en eau dans un nombre limité d'endroits, ce qui épuise les systèmes aquifères locaux et régionaux, notamment les eaux souterraines, pour la production de fourrage et l'abreuvement/le refroidissement du bétail (Shah, 2009 ; Alqaisi et al., 2010 ; Dieter et al., 2018).

En termes de tonnes équivalentes de CO₂, la plus grande contribution aux émissions de GES du secteur agricole provient du rejet de méthane du bétail par fermentation entérique et du fumier déposé sur les pâturages

L'étendue des terres cultivées dans le sous-secteur pluvial (comprenant 11 millions de km² de cultures temporaires pluviales et 33 millions de km² de prairies et pâturages permanents (FAOSTAT, s.d.) fournit une excellente occasion d'améliorer la gestion du sol afin de retenir l'humidité du sol et de favoriser la croissance des racines, de manière à faire des ajouts nets à la réserve de carbone dans le sol (permettant la séquestration effective du carbone). La possibilité d'effectuer des réductions nettes positives sera néanmoins limitée par la disponibilité de l'humidité du sol afin d'établir une réserve de matière organique du sol tout au long de l'année dans les régimes de culture et par une humidité du sol et des eaux souterraines peu profondes suffisantes pour établir une végétation boisée. L'irrigation et la récupération de l'eau dans les zones sèches contribuent déjà à la séquestration du carbone sur des terres qui, autrement, seraient stériles et appauvries en carbone organique par dessiccation et érosion éolienne. L'extension de la production irriguée dans les zones sèches peut être considérée comme une contribution future à la séquestration du carbone, bien qu'elle soit extrêmement limitée par la disponibilité à long terme de l'eau douce.

6.5.2 Application élargie de solutions pratiques issues de gestion de l'eau destinée à l'agriculture dans le cadre de l'atténuation des changements climatiques

Les liens fonctionnels entre la matière organique du sol et l'humidité du sol constituent la principale source de possibilités d'atténuation. L'agriculture de conservation et leurs variantes régionales sont encouragées selon une approche sans regret visant à améliorer la productivité et à réduire les émissions de GES (FAO, 2016b). Toutefois, la faisabilité économique de telles mesures doit être évaluée avec soin. Il n'est pas toujours possible de transposer sur tous les sols les investissements et l'application de certaines techniques telles que le semis dans labour et l'ensemencement. Par exemple, l'état de santé initial des sols marginaux/squelettiques les plus touchés par l'aridité ne peut connaître une amélioration substantielle sans d'importantes quantités d'éléments nutritifs et de matières organiques importées, associées à une irrigation périodique.

L'adoption généralisée de l'agriculture de conservation dépend du type de culture et de la disponibilité des semoirs, de la mécanisation de la récolte et de la disponibilité de la biomasse résiduelle en vue du paillage. La disponibilité des variétés de semences améliorées constitue, elle, le facteur d'une augmentation réelle des rendements. Pour finir, l'augmentation des intrants de main-d'œuvre ou la substitution de la main-d'œuvre par la mécanisation agricole et les changements dans les pratiques de culture doivent être mises en place et abordables. Le rôle des agents de vulgarisation, des fournisseurs d'intrants, des écoles d'agriculture de terrain et des praticiens de la lutte intégrée contre les ravageurs est à la base de cette adoption.

Les pratiques agroforestières et agronomiques spécifiques visant la séquestration du carbone et la réduction des émissions peuvent être regroupées en cinq types principaux :

- L'agroforesterie, qui existe sous de multiples formes, des arbres productifs pour les produits fruitiers aux arbres indigènes pour les brise-vent et l'ombre, en passant par les vastes plantations pour les matières premières énergétiques. L'agroforesterie peut avoir des effets positifs sur l'infiltration de l'eau dans le sol, le stockage de l'eau dans le sol, la recharge des eaux souterraines, le contrôle du ruissellement et de l'érosion, le cycle des nutriments dans le sol et la biodiversité (FAO, 2018e). La conversion de terres cultivées ou de prairies en terres boisées augmentera la consommation d'eau pure, surtout si des taux de croissance élevés sont atteints (Hofer et Messerli, 2006 ; Pugh et al., 2019). Cependant, le contexte climatique doit également être pris en compte et, dans les zones tempérées où les forêts attirent des niveaux élevés de précipitations occultes et relient les sols des hautes terres, les bassins versants boisés peuvent être encouragés/protégés comme mesure d'atténuation, puisqu'ils peuvent également maintenir des niveaux plus élevés de débit de base pour l'approvisionnement en eau en milieu urbain (Ellison et al., 2017).
- Le traitement des sols secs dégradés par une gestion active du drainage (murets de contour, trous de plantation, etc.) et l'adoption de systèmes de semis direct visant à réduire les rejets de sédiments et de nutriments a permis d'augmenter de façon temporaire le carbone organique du sol. Un tel traitement à grande échelle peut également avoir un effet positif en aval en atténuant et en diffusant de petites pointes de crue. La clé consiste à maintenir les déficits d'humidité du sol à des niveaux tolérables pour la croissance des plantes et d'améliorer la structure du sol et la conductivité hydraulique afin d'augmenter les taux d'infiltration et favoriser la percolation profonde et la recharge directe des aquifères
- Il a été démontré que la culture « douce » du riz alterné en milieu humide et sec réduit les émissions de méthane, maintient les rendements et peut réduire la demande d'eau de 24 % par rapport aux inondations continues (Corrijo et al., 2017). Comme autre avantage, on peut citer la réduction des coûts de pompage et des concentrations d'arsenic dans le grain. Il faut toutefois tenir compte de l'augmentation des émissions de N_2O provenant de surfaces de sol périodiquement sèches, la réduction du taux d'azote injecté dans la rhizosphère (à la suite de l'immersion), la perte de l'aquaculture et les fonctions écosystémiques connexes et la réduction de la suppression des mauvaises herbes et de la recharge des eaux souterraines associée aux inondations incessantes.
- Le boisement pour la séquestration du carbone peut présenter des avantages puisque la repousse semble avoir un potentiel de séquestration plus élevé que le couvert forestier mature (Pugh et al., 2019). Là encore, il faut des mesures de compensation dans les bassins fluviaux où la régénération forestière en amont augmentera la consommation d'eau en transpiration et peut réduire les débits en aval. Il faut également tenir compte du fait que, dans les zones semi-arides où les nappes phréatiques sont d'une profondeur modérée, des apports d'eau supplémentaires peuvent être nécessaires pour amorcer la croissance. Il est possible d'envisager une séquestration plus modérée du carbone grâce à l'adoption de techniques agroforestières lorsque l'ombre est bénéfique pour les cultures en champ ou vivaces.
- Les nouvelles technologies de pompage solaire (et les contributions énergétiques connexes aux réseaux d'alimentation) et leur application à la production agricole peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation des émissions de GES (encadré 6.4). L'approvisionnement en électricité et en énergie est essentiel au développement des économies rurales, et le degré de cette dépendance est indiqué par le niveau des subventions énergétiques accordées aux zones fortement productives alimentées par de l'eau souterraine en Inde, ce qui a entraîné la faillite des services publics d'approvisionnement en électricité (Shah, 2009). Malgré des coûts d'investissement plus élevés que les équivalents diesel, les prix des systèmes énergétiques photovoltaïques sont en baisse et l'on commence à noter des signes d'adoption à grande échelle (Zou et al., 2013). Cependant, l'emplacement du pompage solaire peut s'avérer être un facteur déterminant en termes de gestion de l'eau. Dans les zones avec des nappes phréatiques peu profondes (par ex. East Ganges, parties du bassin d'Indus), l'avantage combiné du contrôle du drainage/salinité et de l'approvisionnement en eau d'irrigation peut être atténué par les dangers de la mobilisation des eaux souterraines naturelles, notamment la mobilisation de l'arsenic des aquifères contaminés. En outre, la substitution globale de la source d'énergie par des puits de forage pour les agriculteurs qui bénéficient actuellement d'une énergie thermique subventionnée ne sera pas toujours envisageable d'un point de vue technique ou financier, surtout si l'alimentation des pompes de forage en profondeur nécessite une alimentation électrique triphasée. Si cette technologie n'est pas gérée et régulée de façon adéquate, elle risque également de favoriser l'exploitation non durable de l'eau (FAO/GIZ, 2018).

Encadré 6.4 L'ascension rapide du développement du pompage solaire

Suite aux divers succès des projets d'irrigation solaires (SIP) en Afrique et en Asie, l'investissement dans la technologie solaire en vue de transformer le développement du secteur agricole est en plein essor, ce qui offre une source d'énergie rentable et durable pour assurer la production alimentaire et soutenir les moyens d'existence (FAO/GIZ, 2018). Pour assurer un développement durable et écologique des SIP, à la fois sur le réseau et hors réseau, il faudra élaborer des cadres réglementaires et des politiques plus solides, étant donné le coût actuel presque nul du pompage de l'eau (Closas et Rap, 2017). En Inde, les SIP sont passées de 18 000 en 2014–2015 à près de 200 000 ces dernières années, soit un taux de croissance annuel de 68 %. Le modèle pilote de l'énergie solaire comme culture rémunératrice (SPaRC) au Gujarat offre aux petits exploitants agricoles des mesures incitatives et rémunératrices (109,7 dollars EU/MWh) pour vendre l'énergie solaire au réseau afin de réduire le prélèvement d'eau souterraine pour l'irrigation (Shah et al., 2018). Le gouvernement indien a intégré ce modèle dans son programme KUSUM (Kisan Urja Suraksha evam Utthan Mahabhiyan - Mission des agriculteurs pour la sécurité et le développement énergétique) de 21 milliards de dollars EU, qui vise à mettre sur pied 2 millions de SIP.

Plusieurs initiatives du gouvernement et des donateurs soutiennent les SIP au moyen de diverses modalités de subvention destinées aux personnes pauvres. Entre autres exemples, le soutien de 50 000 SIP d'ici 2025 selon une modalité de subvention de 50 % et de prêt de 30 % à Bangladesh (Verma et al., 2018), les modalités de financement adaptées à la propriété foncière des femmes en vue de soutenir la féminisation croissante du secteur de l'agriculture au Népal (Mukherji et al., 2017), et les modalités solaires collectives pour soutenir les agriculteurs sans terre et marginalisés en Inde (Sugden et al., 2015).

L'Afrique a également pris conscience du potentiel de l'énergie solaire. Au Maroc, le Crédit Agricole associe des subventions à l'énergie solaire et l'irrigation goutte à goutte, dans un programme de moins de 220 millions de dollars EU visant à promouvoir une exploitation durable de l'eau. L'application à grande échelle des solutions hors réseau en Afrique subsaharienne a évolué plus lentement que dans d'autres régions, malgré son énorme potentiel et ses projets pilotes fructueux (FAO/GIZ, 2018 ; Otoo et al., 2018). En Éthiopie, par exemple, les pompes solaires photovoltaïques pour l'irrigation pourraient transformer 18 % des terres agricoles pluviales (Schmitter et al., 2018). Les obstacles identifiés à l'application à grande échelle du modèle solaire en Afrique subsaharienne sont liés à la faiblesse des chaînes d'approvisionnement, aux taxes à l'importation élevées et au manque de mécanismes financiers (FAO/GIZ, 2018).

6.6 Conclusions

Les « réponses » agricoles aux changements climatiques dépendront des informations liées au climat appliquées à des échelles appropriées de manière à interpellier les différentes communautés agricoles. À cet égard, les mesures d'adaptation et d'atténuation seront riches en information plutôt qu'exigeantes en matériel.

Le fait de ne tenir compte que de la variable eau en contexte agricole ne produira pas nécessairement les résultats escomptés en matière de productivité agricole. Il est nécessaire d'envisager une meilleure prise en considération de l'eau par rapport aux autres intrants, et ce grâce à un ensemble de mesures intelligentes face au climat. Les ajustements doivent correspondre à l'échelle du système hydrologique afin de produire des résultats positifs sur le rendement du système agricole (par rapport à la variabilité climatique) et d'entraîner des réductions nettes des émissions de GES.

Les signaux des modèles de circulation générale indiquent qu'en dépit de l'augmentation des rendements par la fertilisation au CO₂, de nombreux systèmes agricoles productifs des zones tempérées et semi-arides fonctionneront à des marges agroclimatiques en termes de chaleur et d'humidité. Cette situation aura une incidence sur les agriculteurs qui devront peut-être investir dans des mesures d'adaptation ou de sortie du secteur de l'agriculture et trouver d'autres sources de subsistance en raison de la pénurie d'eau. La gestion durable de l'eau sera la principale mesure d'adaptation, car les changements dans les régimes de précipitations saisonnières et les températures élevées rendent l'agriculture pluviale trop peu fiable pour répondre au niveau de la demande de denrées alimentaires de base. Par conséquent, on estime que la pression sur les ressources en eau douce devrait s'intensifier et l'agronomie devrait devenir plus productive en termes d'eau à mesure que les producteurs ressentiront

les effets de l'aridité des sols et de la pénurie d'eau. L'adoption généralisée de l'agriculture de conservation sur les terres pluviales devrait être une réponse à plus long terme réduisant les intrants, séquestrant le carbone et favorisant la rétention de l'humidité du sol et la percolation afin d'améliorer le stockage de l'eau douce et la qualité de l'eau.

Si l'on veut pratiquer une agriculture intelligente face aux changements climatiques, l'une des principales exigences consiste en l'extension des services et des informations agrométéorologiques aux agriculteurs qui, autrement, n'y auraient pas un accès fiable. Les ajustements dans la gestion de l'eau destinée à l'agriculture locale et de bassin seront pilotés par des logiciels, des outils d'information liés au climat adaptés à des ensembles spécifiques de producteurs. Dans de nombreux cas, des efforts seront nécessaires pour contrer les préjugés liés au genre et assurer l'égalité d'accès des agricultrices. Lorsque les prélèvements s'intensifient, la comptabilité opérationnelle (sur le terrain) de l'eau complétera ces services afin de préparer des plans de culture annuels et de gérer les débits, le stockage et l'allocation des eaux souterraines et de surface. L'adoption de programmes technologiques et le soutien aux écoles de campagne/vulgarisation agricole doivent produire des rendements positifs pour les agriculteurs, ayant à l'esprit que le contexte institutionnel est très variable et que les utilisateurs peuvent être indifférents à l'orientation si les avantages ne sont pas démontrables ou soutenus. Pour une application à grande échelle de l'AIC, l'on peut résumer aux différents niveaux, un ensemble de messages techniques sur les politiques relatives à l'eau.

Au niveau national/international :

- Promouvoir des outils agroclimatiques pour anticiper l'augmentation des risques climatiques (intensité, durée et fréquence des précipitations, plage de température diurne, humidité et pouvoir d'évaporation) ;
- Étendre les mesures incitatives liées aux pratiques d'adaptation et d'atténuation, notamment l'assurance-récolte liée aux conditions météorologiques ;
- Améliorer les mesures de gouvernance de l'eau qui prévoient une allocation en cas de pénurie ; et
- Faire face à la rigidité institutionnelle/sociale en ce qui concerne les mesures d'adaptation et d'atténuation.

Au niveau des bassins :

- Déclarer des comptes d'eau destinée à l'agriculture opérationnels et exacts à comparer à d'autres réclamations sectorielles et déterminer la portée de l'ajustement de la gestion des débits de base afin de maintenir les avantages des cours d'eau (notamment les pêches et la recharge) dans le contexte de la variabilité climatique ;
- Effectuer la transition de l'utilisation conjonctive à la gestion conjonctive afin de maintenir les systèmes d'eaux souterraines en jeu.

Au niveau des systèmes irrigués :

- Mettre en œuvre des infrastructures et des systèmes de production sur le terrain à l'épreuve des changements climatiques, y compris la mise en place progressive de la redondance des systèmes d'irrigation et de drainage sur la base de mesures sans regret ; et
- Renforcer les capacités de gestion de l'irrigation du personnel opérationnel et des groupes d'utilisateurs en leur donnant accès aux services climatiques et aux pratiques de l'AIC.
- Au niveau des agriculteurs :
 - Déployer des programmes d'AIC et d'irrigation grâce à des approches d'écoles pratiques d'agriculture socialement inclusives ; et
 - Évaluer soigneusement les coûts de la main-d'œuvre et de la mécanisation, y compris les technologies de surveillance et de pompage/pressurisation, et établir un lien avec les mécanismes de financement à terme (période fixe).
- Au niveau des organisations de producteurs :
 - Promouvoir des modèles d'intensification durable et de réduction des émissions dans des secteurs de culture spécifiques.

7

Énergie et industrie



Vue aérienne d'une station d'épuration.

Ce chapitre traite les risques, les défis et les opportunités pour l'adaptation, l'atténuation et la résilience au changement climatique liés à l'eau pour les secteurs de l'énergie et de l'industrie.

7.1 Contexte

Les secteurs de l'industrie et de l'énergie préfèrent opérer dans un climat de certitude or, bien que les changements climatiques soient une certitude, leurs impacts sur les ressources hydriques restent incertains. Étant donné que l'industrie (notamment le secteur de l'énergie pour le refroidissement des centrales thermoélectriques et nucléaires) compte pour 19 % de l'exploitation des ressources mondiales d'eau douce (AQUASTAT, s.d.) et le secteur énergétique à lui seul a été estimé récemment à 10 % (AIE, 2016), la pression de cette imprévisibilité constitue un défi de taille qui s'accroît à mesure que les émissions de gaz à effet de serre (GES) augmentent.

De plus, la demande mondiale en eau des secteurs de l'industrie et de l'énergie (tableau 7.1) devrait atteindre 24 % d'ici 2050, les plus fortes augmentations en termes absolus étant déjà observées en Asie et en Europe (principalement pour l'industrie), et l'Amérique du Nord étant la seule région qui devrait afficher une baisse (Burek et al., 2016). Les projections de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) basées sur leur scénario principal (Nouvelles politiques¹²) prévoient que les prélèvements d'eau mondiaux par le secteur de l'énergie augmenteront de moins de 2 % d'ici 2040, tandis que la consommation augmentera de près de 60 % (AIE, 2016). Dans les zones de stress hydrique, cela contribuera à accroître la rareté, car une quantité inférieure d'eau sera réinjectée dans le cycle hydrologique pour être utilisée par d'autres secteurs.

En l'absence de mesures d'adaptation et d'atténuation, il est probable que des répercussions importantes se feront sentir non seulement dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, mais aussi dans les pays à revenu élevé, dans tous les segments de la société et dans les chaînes de valeur ascendantes et descendantes.

Tableau 7.1 Demande en eau du secteur de l'industrie, par continent, 2010 et 2050 (scénario moyen)

	2010 (km ³ /an)	La part de l'utilisation totale d'eau du continent (en %)	2050 (km ³ /an)	La part de l'utilisation totale d'eau du continent (en %)	Taux d'évolution (2050 en % de 2010)
Afrique	18	8	64	18	353
Asie	316	10	760	19	240
Amérique du Nord et centrale	229	35	182	27	80
Amérique du Sud	31	19	47	21	153
Europe	241	54	325	58	135
Océanie	2	5	3	7	144
Monde	838	18%	1 381	24%	165%

Source : Adapté de Burek et al. (2016, tableaux 4–10, p. 62).

¹² « Notre scénario central dans le WEO-2016, le scénario Nouvelles politiques, intègre les politiques énergétiques existantes ainsi qu'une évaluation des résultats susceptibles de découler de la mise en œuvre des intentions annoncées, notamment dans les engagements climatiques soumis à la COP21. » (AIE, 2016, p. 31).

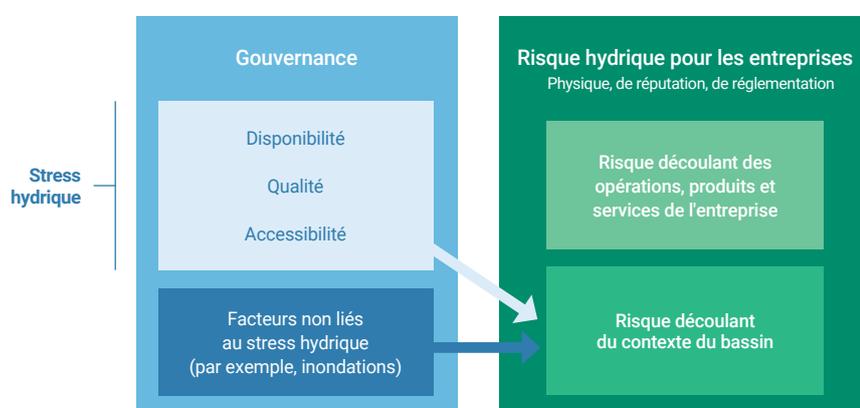
7.2 Défis et risques

Selon le Forum économique mondial, depuis 2014, les phénomènes météorologiques extrêmes constituent le premier ou le deuxième risque mondial en termes de probabilité, et les crises de l'eau figurent parmi les cinq premiers en termes d'impact (WEF, 2019). Les chocs liés aux ressources en eau dans les économies émergentes ont déjà entraîné des pertes massives d'assurance, des défaillances de la chaîne d'approvisionnement et des chocs de prix ayant des implications mondiales. L'incapacité à faire face à ces risques pourrait entraîner une chute spectaculaire des investissements des entreprises, avec des conséquences dramatiques pour les entreprises et pour le développement (IIASA, s.d.). Les défis liés à l'eau et les risques commerciaux deviendront plus évidents et seront généralement similaires pour les secteurs de l'énergie et de l'industrie. Les quatre principaux facteurs de risque liés à l'eau signalés récemment par les entreprises sont la pénurie d'eau, les inondations, la sécheresse et le stress hydrique (CDP, 2017a).

7.2.1 Défis liés aux ressources en eau

Stress hydrique : La fiabilité de l'approvisionnement en eau en termes de disponibilité (quantité), de qualité affectée par la pollution et d'accessibilité (allocation, concurrence et conflit) est essentielle au bon fonctionnement des affaires (figure 7.1). Ces facteurs sont compliqués par l'incertitude et l'imprévisibilité, ainsi que par la variabilité croissante, tant de la reconstitution des eaux de surface que de la recharge des eaux souterraines en raison des changements climatiques. Une simplification indique que les zones sèches deviendront plus sèches et c'est dans ces régions subtropicales que le stress hydrique, qui se traduit par la sécheresse physique, sera probablement le plus durement ressenti. Cela aura des répercussions sur les plus gros consommateurs d'eau, notamment les secteurs de la production d'énergie et de l'industrie, ainsi que leurs chaînes d'approvisionnement.

Figure 7.1 Stress hydrique et risques pour les entreprises



Source : Adapté du CEO Water Mandate (2014).

L'ensemble des types de facteurs de stress hydrique ont un impact potentiel sur la production d'énergie (tableau 7.2) (AIE, 2012). Par exemple, les niveaux des rivières et de l'eau peuvent descendre sous les prises d'eau des centrales thermiques et des installations hydroélectriques, ce qui entraîne l'arrêt des opérations. En outre, l'augmentation de la température de l'eau influe sur le refroidissement, ce qui réduit l'efficacité thermique et, si elle dépasse les seuils critiques, interrompt même la production d'énergie. De nombreuses zones géographiques y sont exposées, ainsi que plusieurs formes de production d'énergie. Même avec une bonne disponibilité globale des ressources en eau, les variations saisonnières peuvent être problématiques et les pays ayant une grande capacité de production thermique utilisant un système de refroidissement à passage unique et/ou de l'hydroélectricité sont particulièrement vulnérables. En ce qui concerne la production d'électricité au niveau mondial, les changements de débit et de température subiront des variations en raison des changements climatiques : en tenant compte des facteurs temporels et climatiques, les changements climatiques

Tableau 7.2 Exemples des effets de l'eau sur la production énergétique

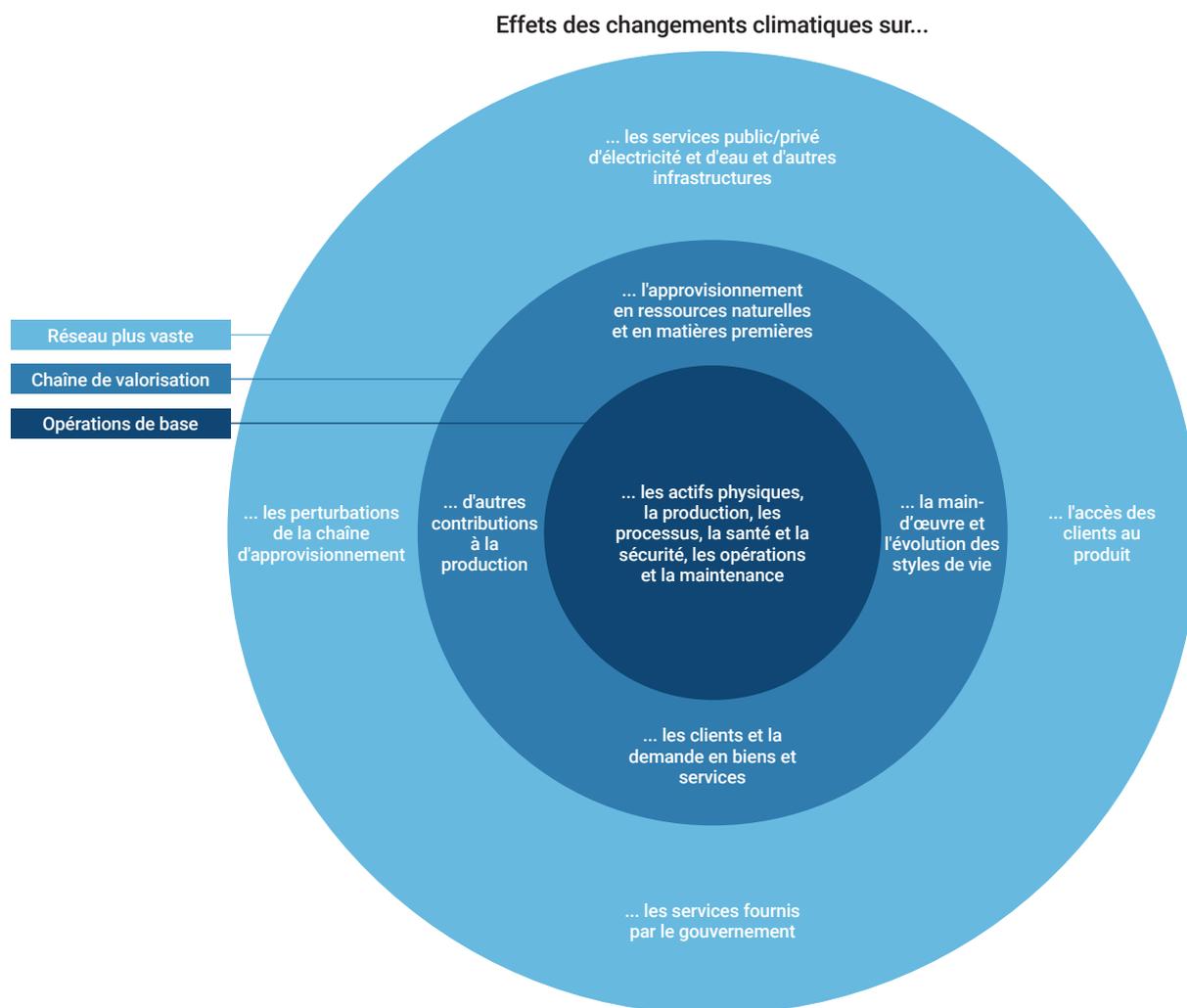
Pays (année)	Production énergétique
Kenya (2017)	La sécheresse qui a débuté en 2017 a provoqué des coupures d'électricité répétées et des coûts en électricité plus élevés.
États-Unis (2016)	La capacité de production du barrage Hoover a été réduite de 30 % en raison de la sécheresse.
Brésil (2016)	La sécheresse a touché les producteurs d'énergie hydroélectrique, comme le barrage d'Itaipu, ce qui a obligé le pays à recourir à des centrales thermoélectriques plus chères et polluantes.
Ghana (2016)	Le barrage d'Akosombo, qui est la source principale d'énergie du pays, a fonctionné en capacité minimale en raison de la sécheresse.
Inde (2013–2016)	Des pénuries d'eau ont provoqué la fermeture de 14 des 20 plus grands prestataires de services thermiques, ce qui a coûté 1,4 milliards de dollars É.-U. aux entreprises. En 2016, 14 TWh de production d'énergie thermique potentielle ont été perdues – cela équivaut à la demande en électricité annuelle du Sri Lanka.
Inde (2012)	Une mousson retardée a accru la demande en électricité (pour le pompage des eaux souterraines aux fins de l'irrigation) et a réduit la génération hydroélectrique, ce qui a contribué à des pannes d'électricité de deux jours touchant 600 millions de personnes.
Roumanie (2011)	Le producteur d'énergie hydroélectrique Hidroelectrica a diminué sa production de 30 % en raison de réservoirs épuisés après une sécheresse prolongée.
Chine (2011)	La sécheresse a limité la production d'énergie hydroélectrique le long fleuve Yangtze, ce qui a contribué à une demande plus élevée en charbon (et des coûts plus importants), et a forcé certaines provinces à mettre en oeuvre des mesures de rendement énergétique et de rationnement d'électricité strictes. Dans la province de Yunnan, la sécheresse extrême a réduit de moitié la production d'énergie hydroélectrique et a forcé la suspension des opérations sur 1 000 barrages.
Philippines, Viet Nam, (2010)	Le phénomène climatique El Niño a provoqué une sécheresse qui a duré plusieurs mois, réduisant la production d'énergie hydroélectrique et entraînant des pannes d'électricité.
Sud-est des États-Unis (2007)	Lors d'une sécheresse, la Tennessee Valley Authority a restreint la production d'énergie hydroélectrique en vue de préserver l'eau et a réduit la production des centrales nucléaires et à combustibles fossiles.
Midwest américain (2006)	Une vague de chaleur a provoqué la diminution de la production des centrales nucléaires en raison de la température élevée de l'eau du fleuve Mississippi.
France (2003)	Une vague de chaleur prolongée a forcé l'entreprise d'électricité Électricité de France (EdF) à réduire sa production d'énergie nucléaire, équivalant à la perte de 4 à 5 réacteurs et coûtant près de 300 millions d'euros en importation d'électricité.
Production d'énergie primaire	
Chine (2008)	Des dizaines de projets prévus portant sur la liquéfaction du charbon ont été abandonnés, dues en partie à des préoccupations selon lesquelles ils provoqueraient des pressions importantes sur les ressources en eau rares.
Australie, Bulgarie, Canada, États-Unis, France	La préoccupation du public sur les impacts environnementaux potentiels de la production non conventionnelle de gaz (notamment sur l'eau) a entraîné des réglementations supplémentaires et, dans certaines juridictions, des moratoires ou interdictions temporaires portant sur la fracturation hydraulique.

Sources : Basée sur l'AIE (2012, tableau 17.3), avec des informations complémentaires de Wang et al. (2017) et Kressig et al. (2018).

pourraient entraîner une réduction de l'hydroélectricité de 1,2 à 3,6 % dans les années 2050, en particulier en Amérique du Sud et en Australie, et une réduction de l'énergie hydroélectrique de 7 à 12 % dans la plupart des régions (Van Vliet et al., 2016).

Événements extrêmes : Les inondations et les sécheresses sont des effets liés à l'eau, aggravés dans le temps et l'espace par les changements climatiques. Elles sont de plus en plus fréquentes et intenses, ce qui exerce une pression accrue sur la production d'électricité et l'industrie. Les inondations de 2011 en Thaïlande, par exemple, ont touché 800 installations employant 450 000 travailleurs et entraîné une perturbation mondiale de l'approvisionnement en lecteurs de disques (Winn, 2011). En outre, les catastrophes à évolution lente telles que l'élévation du niveau de la mer affecteront de vastes zones côtières qui abritent en général les services de distribution d'énergie et les sites industriels.

Figure 7.2 Catégories d'impacts des changements climatiques sur les entreprises



Source : Freed et Sussman (2008, fig. 2, p. 13).

7.2.2 Risques commerciaux

Les effets des changements climatiques sur l'eau engendrent des risques commerciaux et la production d'électricité selon diverses perspectives¹³. La Figure 7.2 illustre les effets des changements climatiques (dont bon nombre sont liés à l'eau) dans le secteur des mines et des métaux, avec trois niveaux d'extension du risque. Le niveau intérieur correspond aux effets primaires propres au site sur les activités de base ; le niveau suivant comprend les risques qui touchent la chaîne de valeur, par exemple les matières premières ; le niveau extérieur présente les effets sur les tiers, notamment l'approvisionnement en énergie (CIMM, 2013).

Les changements climatiques peuvent également constituer un multiplicateur de menaces pour les risques commerciaux. Par exemple, la pénurie d'eau touche et affecte les secteurs énergétiques, industriel et alimentaire. Les entreprises auront de la difficulté à aborder et à gérer ces différentes dimensions. En effet, la majorité des risques pour l'industrie et la production d'électricité proviennent du cadre d'action et échappent à leur seul contrôle et influence (tableau 7.3).

Risques opérationnels : Le stress hydrique peut empêcher la fabrication ou la production d'énergie, simplement en raison du manque d'eau. Les effets se feront également ressentir sur le plan opérationnel, affectant l'approvisionnement en matières premières, perturbant les chaînes d'approvisionnement et

¹³ Les informations présentées dans cette sous-section proviennent de PMNU/PNUE/Oxfam/WRI (2011), Schulte (2018) et OCCIAR (2015).

Tableau 7.3 Risques liés aux changements climatiques pour certains principaux secteurs des entreprises

Secteur professionnel	Risques indicatifs	Préoccupations
Énergie et services	Risque de réputation ; risque physique en raison d'événements climatiques extrêmes ; pics de demande qui pourraient dépasser les capacités ; des périodes de grandes chaleurs qui pourrait réduire l'efficacité de l'extraction.	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages physiques potentiels au personnel et aux équipements, perturbation potentielle des activités de production des installations en mer. • Les changements climatiques significatifs (provenant principalement de la température, mais également du vent et de l'eau) d'une année à l'autre peuvent provoquer des variations substantielles de l'offre et de la demande en électricité et gaz. • Les pénuries d'eau et les vagues de chaleur peuvent faire diminuer la production d'énergie hydroélectrique.
Production et biens de consommation	Coûts plus élevés des matières premières et de l'eau douce ; coûts plus élevés de l'énergie ; changements inattendus dans les préférences des clients ; perturbations dans la chaîne d'approvisionnement.	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter radicalement les coûts de l'énergie aura des conséquences négatives sur les coûts de fonctionnement. • Baisse de la disponibilité, de l'approvisionnement et de la qualité des matières premières et de l'eau douce. • Interruptions de la production en raison de défaillances fonctionnelles dans les chaînes d'approvisionnement.
Exploitation minière et métaux industriels	Risque de réglementation ; vulnérabilité aux pannes d'électricité et pénuries d'eau du fait de son utilisation intensive ; les précipitations et les inondations risquent de faire déborder les réservoirs de stockage des contaminants.	<ul style="list-style-type: none"> • La pression réglementaire accrue aura un impact sur l'industrie de l'acier : sur ses processus, sur les lieux des installations et sur la disponibilité des matières premières. • Préoccupations au sujet de la sécurité énergétique, dans le cas où l'énergie provient de grandes centrales hydroélectriques par l'intermédiaire d'entreprises nationales chargées de l'énergie, et de la sécurité de l'eau.
Alimentaire et boisson	Pénurie d'eau, endommagement des cultures en raison d'événements climatiques extrêmes, exposition accrue à de nouveaux parasites et de nouvelles maladies, problèmes de transport.	<ul style="list-style-type: none"> • La pénurie d'eau représente le principal facteur de vulnérabilité. • Les impacts des changements climatiques sur les produits de l'agriculture se multiplient.

Source : Adapté de UNGC/PNUE/Oxfam/WRI (2011, tableau 1, p. 21).

entraînant des dommages aux installations, à l'équipement et aussi à l'infrastructure. Ces derniers pourraient à leur tour interrompre les chaînes de transport et affecter le secteur de l'énergie (par exemple, les lignes de transmission et les conduites) et le secteur des communications. Les résultats peuvent se traduire par des conditions de travail dangereuses, des effets sur la santé, une augmentation de l'absentéisme et une baisse de la productivité. En outre, un changement climatique majeur pourrait entraîner des modifications rapides de la demande des consommateurs, en matière d'énergie par exemple. Pour répondre à cette demande croissante, il faudra le plus souvent de l'eau pour le processus de production.

Risques liés à la réglementation : L'adaptation aux changements climatiques favorisera les changements réglementaires correspondants en matière d'utilisation et de répartition des ressources en eau, la tarification, les effluents, le développement, les risques de catastrophe, etc. La réglementation est susceptible d'affecter les secteurs de l'énergie et de l'industrie en augmentant les coûts opérationnels et en exigeant des rapports supplémentaires sur les risques climatiques et les mesures d'adaptation. Pourtant, à l'inverse, on peut soutenir que le risque réglementaire est plus élevé en cas d'inadéquation de la réglementation et le contrôle des ressources en eau, ce qui entraîne des circonstances incertaines.

Risques liés à la réputation : Plus les personnes telles que les consommateurs, les investisseurs et les parties prenantes sont conscientes des changements climatiques et de ses effets, plus elles parviennent à une vision plus critique des activités et du comportement des entreprises, et aux mesures d'atténuation et d'adaptation concernant les émissions de GES et l'utilisation de l'eau. Cela pourrait avoir un effet positif en augmentant la demande de produits plus économes en énergie et en eau, mais le pouvoir de dépenser pourrait être réduit dans les pays à faible revenu, car plus d'argent sera consacré au processus d'adaptation à l'augmentation du stress hydrique.

Autres risques : Les risques financiers, commerciaux et politiques liés à l'eau font également partie de l'équation globale. Par exemple, il peut être de plus en plus difficile pour les entreprises qui s'installent dans des pays à faible revenu sujets au stress hydrique, aggravé par les changements climatiques. De plus, les changements démographiques et les mouvements de populations liés aux problèmes de l'eau peuvent modifier la clientèle. Cela pourrait avoir un effet positif en augmentant la demande de produits plus économes en énergie et en eau, mais le pouvoir d'achat peut être réduit dans les pays à faible revenu, car plus d'argent sera consacré au processus d'adaptation au stress hydrique croissant. La lutte contre les changements climatiques et les problèmes qui y sont associés, y compris l'eau, peuvent engendrer de l'instabilité politique et même des conflits. Il en résulte non seulement de l'incertitude, mais même des risques pour les entreprises, en particulier celles qui sont fortement investies dans un pays donné.

7.3 Réactions et opportunités

Malgré l'importance croissante accordée récemment aux impacts des changements climatiques dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie, le problème est désormais reconnu. En témoignent les initiatives liées aux ressources hydriques de nombreuses entreprises qui travaillent avec le CEO Water Mandate et le CDP (le système mondial de divulgation pour les investisseurs, les entreprises, les villes, les États et les régions, anciennement connu sous le nom de Carbon Disclosure Project), ainsi que les premiers rapports d'organisations telles que le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2009) et le Pacte mondial des Nations Unies (PMNU/Goldman Sachs, 2009). Le secteur privé « prend conscience » de l'importance de la sécurité de l'eau et reconnaît les effets importants que les changements climatiques pourraient avoir sur le succès commercial (CDP, 2017a). Un nombre important et croissant d'entreprises agissent maintenant pour obtenir des résultats positifs, par exemple en réduisant la quantité d'eau utilisée dans les processus de fabrication, ce qui à son tour réduit l'énergie nécessaire pour le traitement de l'eau. En général, les réactions aux changements climatiques comprennent des mesures d'atténuation ou d'adaptation et parfois une combinaison des deux. Et les entreprises font face aux conséquences tant de l'action que de l'inaction. Ces conséquences peuvent être monétisées en un effet net en comparant les coûts d'action (par exemple, la protection contre les inondations des bâtiments) qui pourraient être partagés ou transférés (l'assurance) avec le coût de l'inaction (par exemple, la perturbation énergétique due aux inondations) (ISO, 2019).

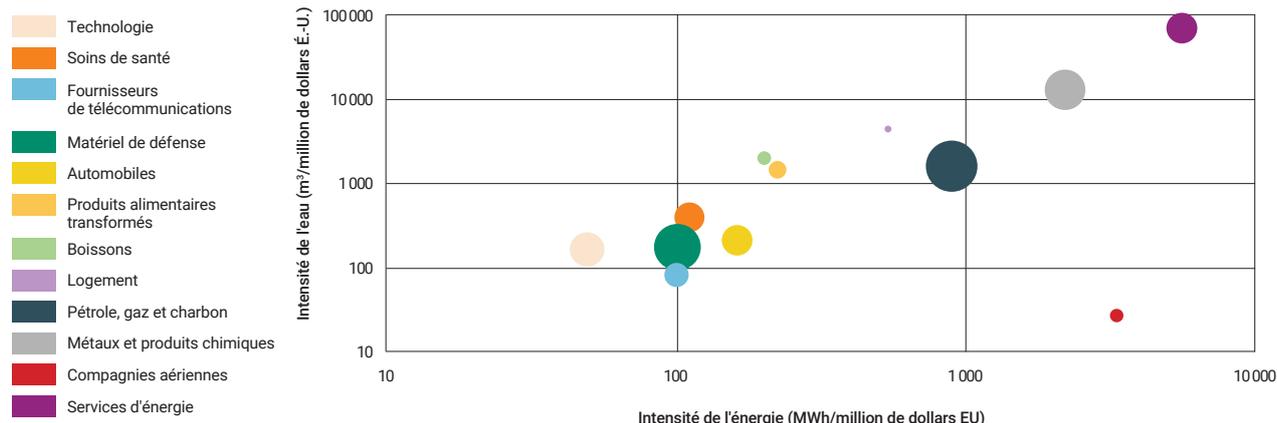
Plus de 50 entreprises signataires de la Business Alliance for Water and Climate (BAFWAC¹⁴) établissent des mesures de rapport, de gestion et d'action à travers la CDP (encadré 7.1). Le CDP évalue chaque année chacune de ces entreprises pour suivre leurs progrès vers un avenir avec une faible émission de carbone et des moyens d'approvisionnement en eau sûrs. Dans l'ensemble, les données indiquent que les entreprises ne peuvent pas prendre de mesures de façon cloisonnée.

Le secteur privé « prend conscience » de l'importance de la sécurité de l'eau et reconnaît les effets importants que les changements climatiques pourraient avoir sur le succès commercial

Les efforts mondiaux de décarbonisation pourraient dépendre du mode de gestion de l'eau des entreprises (CDP, 2016). En 2016, le CDP a fait état d'un coût de 14 milliards de dollars américains lié aux effets des changements climatiques sur l'eau, soit cinq fois plus que l'année précédente. De plus, le CDP a analysé les activités de réduction des émissions dévoilées par les entreprises et a constaté que le succès de près d'un quart (24 %) de ces activités dépendait d'un approvisionnement en eau fiable. Ces activités, qui comprenaient des améliorations de l'efficacité énergétique et des achats d'énergie à faibles émissions de carbone, pourraient réduire les émissions de CO₂ de 125 millions de tonnes métriques par année, ce qui équivaut à la fermeture de 36 centrales au charbon pendant un an. Par ailleurs, plus de la moitié des entreprises ont déclaré des émissions de GES plus faibles grâce à une meilleure gestion de l'eau. La figure 7.3 montre la relation entre l'intensité énergétique et l'intensité hydrique de certaines grandes industries.

¹⁴ La BAFWAC a été lancée conjointement par le CDP, le CEO Water Mandate, la SUEZ et le WBCSD en décembre 2015 et a depuis été souscrit par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Chaque année, la BAFWAC suit et rend compte des progrès des entreprises signataires dans le cadre de l'engagement pris à la Conférence des Parties (COP) à la CCNUCC. La BAFWAC sera dissoute en fin 2020.

Figure 7.3 Niveau d'intensités hydrique et énergétique des principales industries



Remarque : Zone de bulles proportionnelle au revenu total de l'industrie.

Source : Metzger et al. (2016, fig. 2, p. 4).

Encadré 7.1 Entreprises et changements climatiques

Les entreprises signalent des risques commerciaux importants liés à l'eau et au climat.

- Colgate Palmolive rapporte qu'en 2016, El Niño a provoqué une grave sécheresse en Asie du Sud-Est, ce qui a affecté le rendement des fruits de palme et réduit la production d'huile de palme de 27 % au premier semestre par rapport à la même période l'année précédente. Ces changements ont eu un impact sur la chaîne d'approvisionnement de Colgate, poussant la société à évaluer les répercussions futures de la pénurie d'eau sur les principaux produits.
- Les changements climatiques affectent la demande et l'offre d'électricité. ENGIE, une société française d'approvisionnement en énergie, signale que l'augmentation des températures dans certaines régions peut réduire les besoins en énergie pour le chauffage des maisons et des bâtiments, et donc la demande de services d'ENGIE. Du point de vue de l'offre, l'eau est essentielle aux processus hydroélectriques d'ENGIE, et des changements importants dans les précipitations, comme les sécheresses, affecteront considérablement la production d'électricité de l'entreprise.
- Les changements climatiques poussent également d'autres entreprises à réduire leur dépendance à l'égard des ressources en eau. Ford Motor Company s'est fixé un objectif de réduction de 30 % de la consommation d'eau par véhicule produit d'ici à 2020, par rapport à l'année de référence, de 3,9 m³ par véhicule en 2015. L'entreprise progresse vers cet objectif et a obtenu une place sur la liste Water A du CDP en 2018.

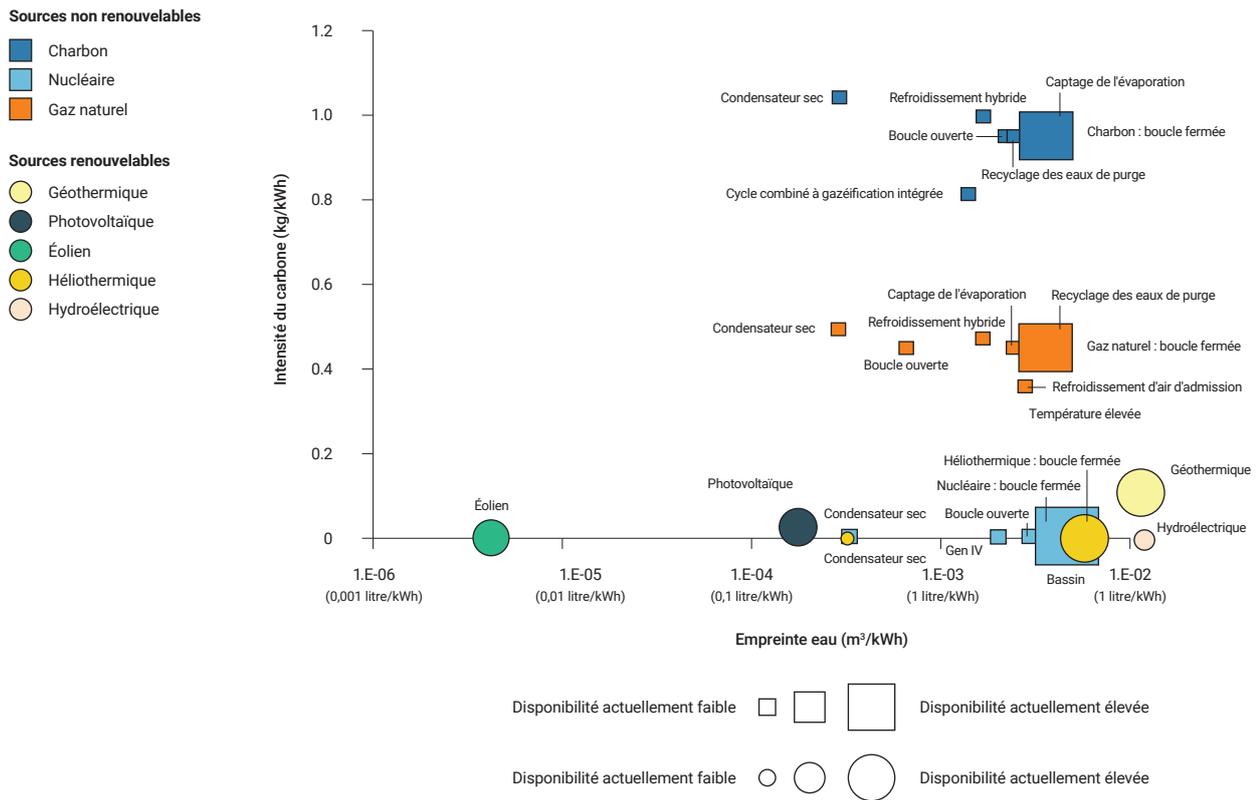
Source : Informations fournies par le CDP au nom de la Business Alliance for Water and Climate.

7.3.1 Atténuation des émissions de GES, utilisation de l'énergie et de l'eau

L'énergie est au centre des initiatives de lutte contre les changements climatiques, car environ les deux tiers des GES anthropiques dans le monde proviennent de la production et de l'utilisation d'énergie (AIE, 2015), comme les émissions de CO₂ provenant du secteur de l'énergie ont augmenté de 1,6 % en 2017 (AIE, 2018). Plus de 90 % des émissions de CO₂ du secteur de l'énergie proviennent des combustibles fossiles (AIE, 2015). Depuis 1988, 100 entreprises privées et publiques à elles seules étaient responsables de 71 % des GES industriels¹⁵ produits dans le monde par les entreprises d'exploitation de combustibles fossiles (CDP, 2017b).

¹⁵ Comprend globalement l'ensemble la production et la combustion en aval de combustibles fossiles dans tous les secteurs, sauf l'agriculture pour l'essentiel.

Figure 7.4 Empreinte eau indicative et intensité de carbone de la production énergétique, par source



Source : Adapté de la Banque mondiale (2016a, fig. 3.1, p. 30). © Banque mondiale, openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23665, Licence : CC BY 3.0 IGO.

Les combustibles fossiles sont principalement utilisés dans les centrales thermiques alimentées au charbon, au pétrole et au gaz naturel, qui sont d'importants utilisateurs d'eau de refroidissement et qui ont utilisé au niveau mondial 58 % du total des prélèvements d'eau pour le secteur de l'énergie en 2014 (AIE, 2016). Ce point est au cœur du lien eau-énergie qui est examiné plus en détail et dans un contexte plus large au chapitre 9.

Il existe un certain nombre de possibilités d'atténuer les GES tout en réduisant la consommation d'eau. La réduction de la demande d'énergie et l'augmentation de l'efficacité énergétique sont des points de départ, bien que la demande mondiale d'énergie devrait augmenter de plus de 25 % dans le cadre du scénario des nouvelles politiques de l'AIE. Toutefois, sans les améliorations de l'efficacité énergétique, la demande serait deux fois plus élevée (AIE, 2018).

L'orientation la plus prometteuse est l'utilisation accrue de technologies d'énergie renouvelable à faibles émissions de carbone et un faible besoin en eau, comme l'énergie photovoltaïque (PV) et l'énergie éolienne (figure 7.4). Il a été estimé qu'en 2030, ces sources d'énergie renouvelables pourraient compter une réduction d'environ 50 % des prélèvements d'eau au Royaume-Uni, de plus de 25 % aux États-Unis, en Allemagne et en Australie, et de plus de 10 % en Inde (IRENA, 2015). Dans l'Union européenne (UE), on estime qu'en 2012, l'énergie éolienne a permis d'économiser une quantité d'eau égale à celle utilisée annuellement par 7 millions de personnes dans les ménages moyens, et d'ici à 2030, avec un recours plus soutenu à d'autres sources en substitution des combustibles fossiles et la production nucléaire, la quantité d'eau économisée sera environ 3 à 4 fois plus importante (EWEA, 2014). Ces chiffres donnent une idée de l'ampleur des économies d'eau qui pourraient être réalisées grâce aux énergies renouvelables dans les régions de pénurie situées dans les pays à faible revenu.

Les énergies renouvelables constituent la principale réponse aux initiatives d'énergie propre et de réduction des émissions de carbone. À cet égard, les sources d'énergie renouvelables ne permettent pas toujours de réduire la consommation d'eau (AIE, 2016). Les sources qui exploitent la chaleur, comme la concentration de l'énergie solaire et la géothermie, nécessitent souvent de l'eau pour le refroidissement, ce qui fait augmenter la consommation. De plus, le captage et le stockage du carbone, visant à prolonger la durée de vie des centrales à combustibles fossiles, pourraient presque doubler les besoins en eau (AIE, 2016). De même, l'augmentation de la production d'énergie nucléaire, au caractère renouvelable discutable, mais que certains considèrent comme une énergie propre et durable, contribuera à accroître l'utilisation de l'eau.

Une évaluation complète de l'énergie hydroélectrique comme source d'énergie propre et écologique doit tenir compte des émissions de GES des réservoirs

L'hydroélectricité, qui fournit 16 % de l'électricité mondiale (AIE, 2016) et 70 % de l'énergie renouvelable (AIE, 2017a), nécessite un important approvisionnement en eau. Toutefois, cette eau ne servira pas qu'au refroidissement, car après avoir passé les turbines, reste disponible à d'autres fins en aval (p.ex. irrigation ou exploitation par d'autres centrales hydroélectriques). L'utilisation nette d'eau de l'hydroélectricité peut être réduite si le système de réservoir correspondant est polyvalent. Par ailleurs, l'hydroélectricité joue un rôle dans l'intégration d'autres énergies renouvelables (intermittentes) comme l'énergie éolienne (Hülsmann et al., 2015). Une évaluation complète de l'énergie hydroélectrique comme source d'énergie propre et écologique doit tenir compte des émissions de GES des réservoirs, ce qui n'est pas une tâche facile (Banque mondiale, 2017b). Autre problème : la qualité de l'eau. Elle est liée aux émissions de GES, puisqu'il a été démontré qu'elles étaient liées à l'eutrophisation, le méthane étant estimé à 80 % des émissions de GES provenant des réservoirs des barrages (Deemer et al., 2016). En outre, les concentrations de méthylmercure augmentent rapidement dans l'eau des réservoirs après la mise en eau et persistent longtemps après, affectant les poissons et les populations qui en consomment (Calder et al., 2016).

Il est essentiel de maintenir des niveaux d'eau suffisants dans les réservoirs afin de maximiser l'efficacité hydroélectrique, comme l'illustre l'exemple du barrage Hoover aux États-Unis, dont la capacité a chuté de plus de 20 % lorsque le niveau des réservoirs a diminué de 40 mètres entre 1999 et 2014 en raison d'une sécheresse prolongée (Capehart, 2015). De plus, la consommation d'eau par évaporation des grandes zones d'eau de surface du réservoir, bien que difficile à estimer, peut être importante dans les zones arides et semi-arides. Le budget annuel moyen de l'eau pour le lac Tahoe (États-Unis), par exemple, compte pour 60 % de l'évaporation (Friedrich et al., 2018). Dans les zones où la rareté et la variabilité des ressources hydriques sont dues aux changements climatiques, la principale solution hydroélectrique consiste à trouver un équilibre entre la nécessité de stocker de grandes quantités d'eau et les besoins en eau de ceux qui vivent et travaillent en aval. D'un autre côté, la flexibilité des réservoirs dans le cadre de la production d'énergie permet une meilleure intégration de la fourniture variable d'électricité par l'énergie éolienne et solaire dans le réseau (AIE, 2016). Dans l'ensemble, si l'hydroélectricité doit rester l'un des facteurs de l'atténuation des changements climatiques et de l'adaptation du secteur de l'énergie, il convient d'évaluer la viabilité globale des projets individuels, en tenant compte des points susmentionnés. En outre, les questions écologiques et sociales telles que la déforestation, la perte de biodiversité, les changements dans l'écologie et l'hydrologie des rivières, l'interférence avec le transport solide, le déplacement de personnes et les répercussions sur les moyens de subsistance, doivent être pris en considération afin d'éviter la répétition des problèmes connus (Moran et al., 2018).

L'augmentation de la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique final aura une incidence directe sur la réduction des émissions de GES, mais l'effet sur la réduction de la consommation d'eau n'est peut-être pas aussi important. Malgré leur potentiel, les hydrocarbures mettent l'accent sur le problème de la réduction des GES et de la consommation d'eau dans le cadre des énergies renouvelables (voir le chapitre 9). Les deux principales exceptions sont l'énergie éolienne et l'énergie PV, qui ont également l'avantage de devenir de plus en plus compétitives avec la production des énergies fossiles. D'un autre point de vue, si la part du secteur énergétique, qui est de 10 % des prélèvements d'eau à l'échelle mondiale, peut paraître moindre par rapport au secteur de l'agriculture, elle n'en reste pas moins une quantité considérable. Une économie de 1 % par an grâce à une meilleure consommation d'énergie ou à une meilleure efficacité énergétique pourrait fournir de l'eau à 219 millions de personnes à raison de 50 l/jour, selon le lieu et d'autres facteurs. C'est une occasion importante pour le secteur de l'énergie de lutter contre la pénurie d'eau tout en atténuant les changements climatiques (Nations Unies, 2018a).

7.3.2 Décarbonisation de l'industrie

L'industrie a un rôle important à jouer dans l'atténuation des changements climatiques et la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris. Ces efforts d'atténuation contribueraient également à réduire les effets des changements climatiques liés à l'eau à long terme. Tandis qu'elle crée environ 25 % du PIB et de l'emploi au niveau mondial, l'industrie a également produit (en 2014) environ 28 % des émissions mondiales de GES (dont plus de 90 % de CO₂) et, entre 1990 et 2014, les émissions industrielles ont augmenté de 69 %¹⁶. La fabrication d'ammoniac, de ciment, d'éthylène et d'acier a produit près de la moitié des émissions de CO₂ de l'industrie (McKinsey & Company, 2018).

Les défis de la décarbonisation dans ces quatre industries résident dans la réduction des émissions. Les matières premières produisent environ 45 % des émissions de CO₂, et cette proportion ne peut être réduite qu'en modifiant les procédés et non en remplaçant le combustible. De plus, ces industries ont besoin de chaleur à haute température produite par la combustion de combustibles fossiles (35 % des émissions de CO₂). Il est possible de réduire les émissions jusqu'à zéro, l'une des principales méthodes étant la disponibilité d'électricité à faible coût sans carbone¹⁷ pour les fours électriques à haute température. On estime qu'il faudrait de quatre à neuf fois plus d'énergie propre sans carbone que l'énergie produite de façon conventionnelle par ces quatre industries dans le but d'atteindre le seuil zéro carbone. De grands changements dans l'approvisionnement en énergie seraient nécessaires. Par exemple, le nucléaire et l'hydroélectricité sont probablement à l'heure actuelle les principales sources d'énergie capables de répondre à la forte demande. Compte tenu des prix actuels des matières premières, le captage et le stockage du carbone constituent l'option de décarbonisation la moins coûteuse, en particulier en ce qui concerne l'industrie du ciment (McKinsey & Company, 2018).

Ces mesures d'atténuation des GES industriels doivent trouver un équilibre avec l'exploitation de l'eau, en fonction de la combinaison d'énergie renouvelable sans carbone. La consommation d'eau augmentera avec le nucléaire et l'hydroélectricité, et même le captage et le stockage du carbone s'accompagneront d'une utilisation accrue de l'eau.

Selon un rapport récent (ONUDI, 2017a), l'avènement de l'industrie 4.0¹⁸ peut accélérer l'utilisation de l'énergie propre dans le secteur manufacturier et contribuer ainsi à relever les défis au niveau mondial, par exemple l'atténuation des changements climatiques, grâce aux énergies renouvelables, à la réduction des émissions de carbone et à l'optimisation de la consommation d'énergie. Il existe des possibilités d'encourager le recours aux énergies renouvelables et de surmonter leur intermittence si la production est adaptée à la production de pointe. À ce titre, les secteurs de l'industrie et de l'énergie pourraient intégrer l'équilibre des charges du réseau à leur avantage mutuel, ce qui aboutirait à des réseaux intelligents qui utilisent l'information et la communication pour gérer l'offre et la demande de divers producteurs à de nombreux utilisateurs. L'énergie solaire et l'énergie éolienne pourraient ainsi faire partie de réseaux plus larges. L'étape suivante pourrait être celle des centrales électriques virtuelles (VPP), qui sont des mélanges de diverses sources d'énergie avec un centre de contrôle basé sur le cloud.

7.3.3 Parcs éco-industriels et économie circulaire

En ce qui concerne les ressources hydriques, l'adaptation aux changements climatiques confronte l'industrie à deux dilemmes opposés : le stress hydrique causé en général par une trop faible quantité d'eau et les catastrophes hydriques liées aux dommages engendrés par une trop grande quantité d'eau. Les catastrophes, en particulier les inondations, et la « protection contre les risques climatiques » régionale requise pour tous les secteurs sont abordées au chapitre 4. Quant au stress hydrique, l'industrie a une contribution particulière et importante à apporter à la réduction de la consommation d'eau et à son efficacité. Les données indiquent que le secteur de l'industrie a la possibilité de réduire sa consommation d'eau globale jusqu'à 50 % (Andrews et al., 2011 cité par WBCSD, 2017).

¹⁶ L'AIE signale qu'en 2016, les émissions mondiales de CO₂ de l'industrie passeraient de 19 % à 36 %, si les émissions provenant de l'électricité qu'elle utilise lui étaient réaffectées (AIE, 2017b).

¹⁷ Électricité produite à partir de sources renouvelables (sans carbone) et à un coût concurrentiel par rapport aux sources de combustibles fossiles (carbone).

¹⁸ L'industrie 4.0 représente la prochaine (4^e) révolution industrielle et relie la production industrielle physique à la technologie de l'information numérique dans les systèmes cyberphysiques. On l'appelle aussi Internet industriel (des Objets), Fabrication de Pointe ou Fabrication Numérique (ONUDI, 2017a).

Afin de se préparer aux risques potentiels de pénurie d'eau, les entreprises peuvent adopter une gestion circulaire de l'eau, passant d'un processus linéaire d'utilisation de l'eau avec contamination croissante (devenant des eaux usées) à un processus circulaire où l'eau recircule et revient en boucle pour une utilisation continue (Stuchtey, 2015). Au niveau de l'usine, la gestion circulaire de l'eau est caractérisée par l'approche des 5R : réduire, réutiliser, recycler, restaurer et récupérer (WBCSD, 2017) (figure 7.5). Un accent particulier est mis sur les trois premiers R, qui peuvent réduire les coûts (encadré 7.2).

Figure 7.5 Gestion circulaire de l'eau



Source : WBCSD (2017, fig. 7, p. 14).

Encadré 7.2 Exemples de gestion des eaux circulaires industrielles

Recyclage : Le complexe Pearl Gas-to-Liquid (GTL) de Ras Laffan, au Qatar, est la plus grande usine du genre au monde, produisant 140 000 barils/jour d'équivalent pétrole. Shell et son partenaire, Qatar Petroleum, ont pris la décision de ne plus rejeter de liquide et de recycler 100 % de l'eau dans un système en circuit fermé. Outre les économies d'eau, ce système a pour avantage une stricte conformité réglementaire, une empreinte environnementale réduite et une meilleure acceptation par la collectivité (Oxford Business Group, 2014).

Réutilisation : La mine Springvale à Lithgow, en Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, produit le charbon utilisé par la centrale Mount Piper, située à proximité, qui fournit environ 15 % de l'énergie de la Nouvelle-Galles-du-Sud. L'eau de la mine est traitée et acheminée par un pipeline de 16 km à la centrale pour être réutilisée comme eau de refroidissement. Cela garantit la conformité environnementale et opérationnelle en ce qui concerne les débits d'eau et, par-dessus tout, permet la poursuite des activités de la mine et de la centrale (New South Wales Government Department of Planning and Environment, 2017).

Eaux usées traitées : Tangshan Iron & Steel (TIS) en Chine prévoit de construire une nouvelle centrale de cokéfaction (1,5 million de tonnes par an) et une usine de liquéfaction du gaz. En raison d'un environnement pauvre en ressources hydriques et de volumes d'absorption et de rejet limités, TIS dispose, pour soutenir sa production, d'installations de traitement de l'eau qui permettent de réutiliser 60 % de l'eau industrielle. En outre, l'usine respecte une réglementation stricte et permet d'économiser grâce à une réduction de la consommation d'eau douce (Veolia, 2014).

Contribution d'AquaFed.

Les avantages du traitement des eaux usées sont particulièrement mis en exergue par WBCSD et également par l'UE dans son plan d'action sur la réutilisation de l'eau, qui inclut l'industrie (CE, s.d.). Il faut d'importantes améliorations : en 2010, 16 % des prélèvements d'eau douce sont devenus des eaux usées industrielles et, dans de nombreux pays, seul un faible pourcentage est traité (WWAP, 2017).

L'utilisation (ou la réutilisation) de l'énergie contenue dans l'eau courante, qui est souvent dissipée pour des raisons opérationnelles, contribue à la circularisation du cycle énergétique. L'extraction de cette énergie perdue fait partie du processus de décarbonisation des sources d'énergie, qui est cachée dans une grande partie des infrastructures existantes utilisées principalement à d'autres fins (agriculture, approvisionnement en eau, eaux usées, industrie, etc.). L'élaboration de stratégies et de solutions techniques alternatives représente une solution supplémentaire à faible impact et lucrative pour la production d'énergie. Il existe par exemple un fort potentiel d'hydroélectricité dans les systèmes d'irrigation existants (Marence et al., 2018) et aux États-Unis, plus de 80 000 réservoirs non alimentés offrent une possibilité de 12 GZ de puissance supplémentaire (Hadjerioua et al., 2012).

7.3.4 Parcs écoindustriels et l'économie circulaire

Les précédents Rapports mondiaux sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) ont souligné les avantages de la réutilisation de l'eau et de la symbiose industrielle dans les parcs industriels (WWAP, 2017), ainsi que de la gestion efficace de l'eau et des effluents dans les parcs éco-industriels (PEI) (WWAP, 2015). De plus, WBCSD fait remarquer que les 5R encouragent la collaboration entre les secteurs, et que la récupération des ressources à partir des eaux usées relève de la pensée économique circulaire (WBCSD, 2017). L'économie circulaire¹⁹ vise à éviter ou à minimiser la production de déchets, y compris les eaux usées.

Dans le cadre des concepts d'économie circulaire et d'économie verte, le Développement industriel inclusif et durable joue un rôle important, comme le préconisent les mesures d'efficacité énergétique et hydrique dans des programmes tels que l'initiative pour une Industrie verte (ONUDI, s.d.b) avec la Production propre et économe en ressources (RECP). Les PEI (encadré 7.3) incluent bon nombre des efforts susmentionnés dans une économie circulaire locale. Il existe des synergies entre l'économie verte et l'adaptation aux changements climatiques (PMNU/PNUE/Oxfam/WRI, 2011).

7.3.5 Adaptation des entreprises

En ce qui concerne les changements climatiques, l'un des principaux facteurs de réutilisation et d'efficacité de l'eau est le risque pour les entreprises associé au stress hydrique (WBCSD, 2017). Selon le niveau de traitement requis, les technologies sont bien connues et sont fondées sur les variations, par exemple, de la séparation de phases, des précipitations, de la flottation, du traitement biologique, de la filtration et de la séparation, et des solutions fondées sur la nature (SfN) telles que les zones humides construites. En outre, il existe de nombreuses technologies nouvelles et émergentes. Une installation pourrait intégrer la technologie à des opérations quotidiennes telles que l'utilisation de l'eau de lavage, une meilleure surveillance et la détection des fuites. À plus grande échelle, une entreprise pourrait évaluer son empreinte eau et inclure celles de ses fournisseurs, ce qui pourrait avoir des effets considérables s'il s'agit de grands consommateurs de ressources en eau.

La technologie ne constitue pas un obstacle important à la gestion circulaire de l'eau, contrairement à la réglementation, aux ressources financières, à la sensibilisation et au dialogue, (WBCSD, 2017). La réglementation doit être révisée afin de permettre l'utilisation des eaux usées et de renforcer la confiance du public. Les ressources financières reflètent le coût et le retour sur investissement – le faible coût de l'eau et le coût élevé des infrastructures ne favorisent pas toujours le système de gestion circulaire des ressources en eau – et il est nécessaire de mieux comprendre les aspects économiques du coût et de la valeur réels de l'eau. Toutes les parties, des entreprises aux décideurs et autres parties

¹⁹ Une économie circulaire vise à changer le système linéaire en place qui va de la matière première à la fabrication de déchets, et à créer un système où « *Tout est réutilisé, réusiné, recyclé en une matière première, utilisé comme source d'énergie ou éliminé en dernier recours* » (ONUDI, s.d.a, p. 3).

Encadré 7.3 Parcs éco-industriels

Le concept de parc éco-industriel (PEI) prend de l'ampleur en tant que forme de collaboration entre les industries situées sur une propriété commune en vue d'un Développement industriel inclusif et durable qui va au-delà des mécanismes conventionnels (ONUUDI, 2017b). Les PIE portent sur les piliers environnementaux, sociaux et économiques du développement durable, pour lesquels les ressources en eau jouent un rôle important. Un cadre récent pour les PIE établit les exigences de rendement (ONUUDI/Groupe de la Banque mondiale/GIZ, 2017). L'adaptation aux risques liés aux changements climatiques est l'un des principaux sujets environnementaux, tout comme les normes de performance de l'eau, impliquant la circularité, pour la consommation, l'efficacité et le traitement. Par exemple, les objectifs en matière de traitement des eaux usées sont de 95 %, dont 50 % sont réutilisés de façon responsable dans le cadre ou en dehors du PIE. À la suite de projets pilotes sur les PIE dans les économies émergentes et en développement, l'ONUUDI a signalé qu'entre 2012 et 2018, près de 2 millions de m³ d'eau ont été économisés par année (ONUUDI, 2019).

prenantes doivent être sensibilisées à la réutilisation de l'eau. Les informations et les données sont également importantes à cet égard. Le dialogue favorise la sensibilisation et le manque de sensibilisation nuit à l'action concertée lorsqu'un certain nombre d'intervenants sont impliqués.

L'importance des perspectives, de l'influence et de l'impact des femmes dans la réaction des entreprises et de l'industrie face aux changements climatiques peut être considérable. On note que les femmes ont une approche plus globale en matière d'atténuation et qu'elles sont en faveur de mesures plus générales concernant les changements climatiques. La prédominance des hommes dans les secteurs de l'énergie, des transports et de l'industrie se traduit par une orientation plus technologique plutôt que comportementale (OCDE, 2008). Si les femmes jouaient un plus grand rôle dans la prise de décisions, les solutions d'atténuation globales pourraient avoir plus d'importance. Dans les pays de l'OCDE, les femmes sont plus susceptibles que les hommes d'examiner les pratiques environnementales des entreprises dont elles achètent les produits (OCDE, 2008).

Des études de cas et des enquêtes menées par le PMNU/PNUÉ (2012) et la WBCSD (2017) ont permis d'identifier certaines caractéristiques générales relatives aux entreprises et à l'adaptation aux changements climatiques qui ont été appliquées avec succès aux ressources en eau. Plusieurs de ces caractéristiques sont liées aux efforts du personnel interne, comme fournir un soutien de haut niveau, créer des équipes chargées de se concentrer sur les changements climatiques et récompenser l'innovation et la réalisation des objectifs fixés. D'autres traitent de l'orientation de l'entreprise, en associant par exemple l'adaptation aux activités de base et aux initiatives de l'entreprise. Cela pourrait inclure la planification et la conception du traitement des eaux usées au début d'un projet, afin de s'assurer que les eaux usées sont considérées comme une valeur et une économie plutôt que comme un coût. Autre point important, la prise en compte des intérêts de la collectivité de façon participative et non pas simplement à titre de philanthropie d'entreprise. La gestion des bassins hydrographiques prend en compte tous les utilisateurs, y compris le secteur industriel. Cela repose sur une communication efficace et de bonnes relations, qui sont également importantes au sein d'une entreprise. Les entreprises font face à un vaste ensemble de difficultés liées aux changements climatiques. Les ressources en eau, en tant qu'élément d'une grande importance, doivent s'inscrire dans une stratégie globale et un plan d'action.

En ce qui concerne le comportement des entreprises, la gérance des ressources en eau par celles-ci est la prochaine étape après la gestion des ressources en eau, dans le but de reconnaître l'utilisation partagée et la durabilité à long terme de l'eau dans les bassins hydrographiques (Newborne et Dalton, 2016). Cette étape va au-delà du cadre de l'usine et au-delà de la responsabilité sociale des entreprises conventionnelles, en se penchant sur le prélèvement et l'allocation des ressources en

eau en tant que questions plus importantes que la simple reconstitution des ressources, qui tend à préserver le statu quo commercial. Cette démarche pourrait exiger des compromis, des mesures de compensation ou des réductions de l'utilisation de l'eau dans les zones soumises à un stress hydrique. Les efforts de gérance de l'eau sont liés à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), qui est souvent effectuée par les gouvernements, en tant que facilitateurs du dialogue avec le secteur privé. Par ailleurs, les droits de la personne devraient être intégrés à la gérance de l'eau et à la GIRE, sous l'impulsion des Principes directeurs des Nations Unies relatifs aux entreprises et aux droits de l'homme (HRC, 2011), en vue d'influencer l'orientation des entreprises dans ces domaines.

7.4 La voie du progrès

« Assurer un avenir sûr en matière d'eau exigera une transformation complète de notre économie mondiale » (CDP, 2018, p. 11). Pour réussir, les entreprises devront adapter leurs modèles d'affaires, leurs produits et leurs pratiques de manière à dissocier la production et la consommation de l'épuisement des ressources en eau. La réponse à la crise mondiale de l'eau et du climat ne signifie pas seulement une meilleure gestion de l'eau, mais aussi, et surtout, une meilleure gestion des affaires.

La voie à suivre dans la gestion des ressources hydriques pour l'adaptation et l'atténuation des changements climatiques laisse entrevoir des changements importants et se dissocie du maintien du statu quo (business-as-usual) (figure 7.6) « Les entreprises proactives peuvent élaborer des stratégies pour faire face aux risques des changements climatiques dans leurs opérations et leurs chaînes d'approvisionnement, ainsi que des stratégies pour saisir de nouvelles opportunités de marché et mobiliser les clients et les communautés afin de répondre aux besoins dans des conditions climatiques changeantes » (PMNU/PNUE/Oxfam/WRI, 2011, p. 28). L'un des changements les plus importants sera de considérer les changements climatiques comme une opportunité. Il faudra pour cela comprendre dans quelle mesure l'adaptation peut améliorer les perspectives commerciales et pourquoi il ne s'agit pas simplement d'un autre coût non souhaité. Il faudra aussi reconnaître que l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à ces changements sont la responsabilité de tous et que les secteurs de l'énergie et de l'industrie ont des rôles importants à jouer grâce à de nombreux intervenants. Les propriétaires, les actionnaires, les employés, les clients, les fournisseurs et les collectivités – tous sont concernés et seront touchés tant sur le plan collectif qu'individuel. Cela nécessitera une approche à long terme avec une planification et des actions préventives à l'intérieur et à l'extérieur de la clôture (PMNU/PNUE/Oxfam/WRI, 2011). Les entreprises devront se défaire de la mentalité de « capitalisme industriel²⁰ » (Barton, 2011). L'idée du capitalisme inclusif en est une évidence manifeste²¹. « Il est beaucoup plus intelligent de prévoir et de faire face aux effets des changements climatiques, ainsi que de renforcer la résilience dès le départ plutôt que de simplement répondre aux coûts humains et économiques après que les impacts aient eu lieu » (PMNU/PNUE/Oxfam/WRI, 2011, p. 16).

²⁰ Il s'agit de mettre l'accent sur les objectifs de rémunération trimestriels (à court terme) plutôt que sur la réflexion et l'investissement à long terme

²¹ « Le capitalisme inclusif est un mouvement au niveau mondial visant à mobiliser les dirigeants des entreprises, des gouvernements et des secteurs civils et à les encourager à pratiquer et à investir de manière à étendre les possibilités et les avantages de notre système économique à tout le monde » (Coalition pour le capitalisme inclusif, s.d.).

Figure 7.6 Adaptation au climat et stratégie d'entreprise

← Environnement professionnel de plus en plus instable	Comment entreprendre des activités dans un climat en évolution	Environnement professionnel de plus en plus résilient →
OPÉRATIONS		
Coûts des ressources élevés Pertes de productivité Dommages physiques, pertes excessives	Ressources Main-d'oeuvre Immobilisations corporelles, infrastructures	Ressources durables Réserves de main-d'oeuvre stables Structures résilientes, assurance accessible
STRATÉGIE COMMERCIALE		
Chaîne d'approvisionnement, perturbation Produits obsolètes	Chaîne d'approvisionnement, distribution Produits, service client	Nouveaux modèles logistiques Nouveaux marchés, demande émergente
ENGAGEMENT DES PARTIES PRENANTES		
Inefficacité Méfiance Conflit	Dirigeant Investisseurs Communautés	Partenariat Transparence Permis d'exploitation

Source : Adapté de PMNU/PNUJ/Oxfam/WRI (2011, fig. 4, p. 28).

8

Établissements humains



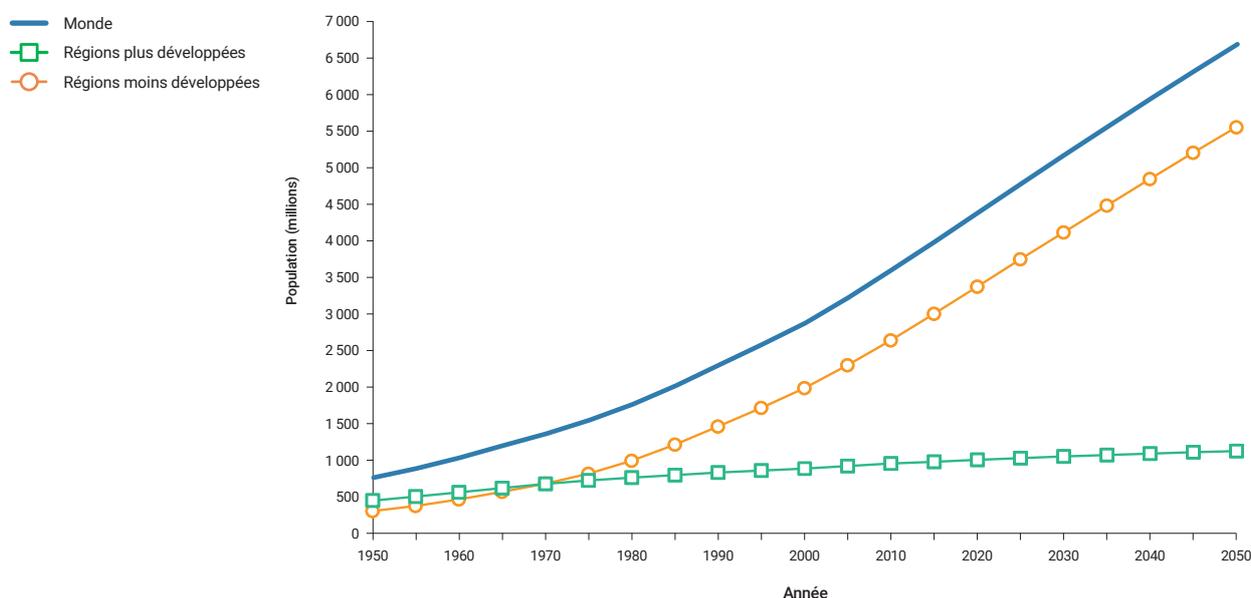
Gratte-ciel écologique couvert de plantes à Sydney (Australie).

Le présent chapitre décrit les liens entre l'eau, le climat et les établissements humains, en soulignant la nécessité d'une résilience accrue dans la planification urbaine grâce à une planification flexible et à long terme.

8.1 Introduction

La majorité de la population mondiale (4,2 milliards sur 7,6 milliards en 2018) vit dans en zone urbaine. Selon les prévisions des établissements humains à l'avenir (avec une population mondiale de 8,6 milliards en 2030 et de 9,8 milliards en 2050), une proportion de 60 % de la population mondiale vivra dans les villes d'ici 2030 et 66,4 % en 2050 (figure 8.1). En 2018, on estimait que les régions moins développées abritaient trois fois plus de citadins que les régions plus développées (3,2 milliards contre 1,0 milliard), et cette proportion devrait augmenter puisque la grande majorité de la croissance de la population urbaine devrait se produire dans les régions les moins développées du monde (UNDESA, 2019).

Figure 8.1 Estimation et projection des populations urbaines du monde, des régions les plus développées et des régions les moins développées, 1950–2050



Source : DESA (2019, fig. I.1, p. 13). © 2019 Nations Unies. Réimprimé avec l'autorisation des Nations Unies.

Avec la prolifération des établissements humains, les ressources rares telles que l'eau subissent une pression croissante accentuée par les impacts des changements climatiques. Bien que les villes constituent un foyer propice au développement économique, à la génération de revenus et à l'innovation, ces avantages s'accompagnent d'inégalités en termes de santé, de répartition de l'eau, de soins d'hygiène et d'opportunités économiques. Par exemple, l'urbanisation aléatoire et non durable a entraîné une saturation des services et des infrastructures d'approvisionnement en eau ainsi que des installations existantes de traitement des eaux usées, exposant souvent la population à des risques sanitaires liés à la qualité et à la disponibilité de l'eau.

Il est important de comprendre que les menaces de pénurie d'eau seront ressenties avec le plus d'acuité à court terme en raison de l'urbanisation rapide, tandis que les effets des changements climatiques se feront sentir à un plus long terme. Les archives historiques jusqu'en 2010 ne mentionnent aucun signal explicite de changement climatique dans les inondations. La croissance démographique et le développement économique ont été les principaux facteurs de l'augmentation du nombre de personnes touchées et des pertes économiques causées par les inondations côtières et fluviales (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014).

8.2 Eau, climat et développement urbain

Les établissements urbains sont les zones où les impacts des changements climatiques sur les systèmes d'approvisionnement en eau se font le plus sentir. Ils comprennent d'une part les changements climatiques extrêmes en raison des températures plus élevées, de la réduction des précipitations et de la sécheresse, et, d'autre part, de l'augmentation des précipitations abondantes et des inondations. Ce sont précisément ces extrêmes qui rendent si difficile la planification de l'espace urbain et la mise en place d'infrastructures.

L'urbanisation aléatoire et non durable a entraîné une saturation des services et des infrastructures d'approvisionnement en eau ainsi que des installations existantes de traitement des eaux usées

Avec la réduction de la disponibilité de l'eau, on estime que d'ici à 2050, 3,9 milliards de personnes (plus de 40 % de la population mondiale) vivront dans des conditions de stress hydrique (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014). Les changements climatiques ont toutes les parties du cycle de l'eau. Les régions du monde les plus touchées par les changements en termes de disponibilité de l'eau seront le Moyen-Orient, l'Asie de l'Est et une grande partie de l'Afrique (GIEC, 2014a). L'impact physique des inondations et des glissements de terrain qui en résultent affectera considérablement les milieux urbains, non seulement en raison des dommages causés aux infrastructures, mais aussi en raison des pertes de vie et de la destruction irréversible des terres (chapitre 4). Même les régions développées n'ont qu'une faible capacité de résilience. Au Royaume-Uni, les coûts des inondations durant l'hiver 2015-2016 ont atteint 7,5 milliards de dollars EU (Miller et Hutchins, 2017). Environ 50 % de la population d'Asie (2,4 milliards d'habitants) réside dans des zones côtières de faible altitude. L'élévation du niveau de la mer mettra en évidence les effets des phénomènes climatiques extrêmes liés aux inondations. En outre, certaines terres agricoles seront rendues inexploitablement en raison de l'augmentation de la salinisation. Dans la région de l'Asie-Pacifique, les tempêtes, les inondations et les glissements de terrain tuent 43 000 personnes chaque année (CESAP, 2018).

Les infrastructures physiques pour la distribution d'eau et les installations d'assainissement peuvent également subir des perturbations, ce qui entraîne la contamination des approvisionnements en eau et le rejet d'eaux usées et d'eaux pluviales non traitées dans les milieux de vie. L'accès à l'eau potable est également compromis, entraînant d'importantes pertes en vies. En plus des maladies liées à l'eau, les populations seront encore plus exposées à beaucoup d'autres risques liés à la santé. Après des inondations, l'on enregistre souvent des maladies à transmission vectorielle comme le paludisme, la fièvre de la vallée du Rift et la leptospirose, entre autres (Okaka et Odhiambo, 2018). Les sources d'eau souterraine sont aussi considérablement touchées par les inondations.

Bien que les statistiques indiquent que les niveaux de couverture de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans les zones urbaines sont souvent plus élevés que dans les zones rurales, la prestation de services pose d'importants défis (OMS/UNICEF, 2017). Plus important encore, leur viabilité environnementale et financière est essentielle dans un contexte où les pays s'efforcent de réaliser les Objectifs de développement durable (ODD). Les schémas d'urbanisation dans un certain nombre de villes sont devenus de plus en plus complexes en raison des migrations liées aux conflits, ce qui signifie que même les meilleurs systèmes de prestation de services planifiés peuvent être perturbés par un afflux rapide de personnes. Outre la fourniture d'eau et de services d'assainissement, d'autres services essentiels, tels que les télécommunications et les transports, sont également affectés de manière significative.

8.3 Besoin accru de résilience en matière des eaux urbaines

Les agglomérations urbaines abriteront près de 70 % de la population mondiale d'ici 2050. Au cours des dernières décennies, la taille, la densité et le nombre de centres urbains ont considérablement augmenté. D'ici 2030, on prévoit que le monde comptera 43 mégavilles de plus de 10 millions d'habitants, dont la majorité se trouvera dans des régions en développement. Cependant, les agglomérations urbaines de moins de 1 million d'habitants sont celles qui connaîtront la croissance la plus rapide (dont la plupart en Asie et en Afrique). Même si environ une personne sur huit vivait dans les 33 mégavilles en 2018, environ 50 % des citoyens du monde résident dans des établissements de moins de 500 000 habitants (UNDESA, 2019). Bon nombre de ces villes sont exposées aux effets des changements climatiques. Par exemple, Jakarta, la capitale indonésienne, avec une population de 10,6 millions d'habitants en 2018 (UNDESA, 2018), est située près d'une grande baie et se trouve sur des terres en affaissement et des plaines inondables, ce qui l'expose ainsi aux inondations et aux phénomènes climatiques extrêmes. On note une fréquence accrue des phénomènes bloquant l'accès à l'eau potable et des situations extrêmes liées à l'eau, ce qui constitue un appel alarmant à l'État visant à renforcer ses efforts de gestion de la migration humaine qui en résulte. En 2007, par exemple, des inondations ont entraîné la migration forcée de 340 000 à 590 000 de ses habitants (Lyon, 2015).

L'ensemble des données scientifiques montrent aujourd'hui de façon irréfutable dans quelle mesure les changements climatiques, en particulier les changements de précipitations et les températures extrêmes, ont intensifié les difficultés de gestion de l'eau (GIEC, 2014a). De nombreuses villes ont souffert de problèmes de ressources en eau, ainsi que d'inondations extrêmes. Sans une approche plus systématique de la gestion de l'eau dans les villes, les actions prévues dans le passé deviendront rapidement insuffisantes. Il en résultera la destruction des ressources, la réduction des services et les répercussions correspondantes sur la santé et l'environnement.

La bonne compréhension du développement urbain au sens large est la clé d'une approche plus efficace. À l'heure actuelle, autant de facteurs du développement urbain ne sont pas bien compris par la communauté des ressources en eau. Une combinaison de ces facteurs exerce une influence telle que, dans un contexte d'incertitude, il sera nécessaire de planifier différents scénarios plutôt que d'adopter une approche fixe et rigide. Grâce à un meilleur engagement des différentes parties prenantes dans les villes, il faut s'assurer qu'elles comprennent les différents scénarios, afin d'être en mesure de faire et de justifier les choix difficiles.

La résilience des ressources en eau urbaines va bien au-delà des limites traditionnelles des villes, jusqu'aux bassins versants éloignés. Dans certains cas, plusieurs villes ou un groupe d'agglomérations urbaines puiseront dans le même aquifère, ou alors on peut assister à des échanges transfrontaliers. Dans ces cas, les questions de ressources en eau nationales, régionales ou internationales peuvent entrer en jeu.

8.4 Domaines d'action essentiels

8.4.1 Planification pour l'avenir

Si les villes veulent s'adapter aux changements climatiques et survivre, elles devront diversifier leur planification, au-delà d'une approche linéaire axée uniquement sur la prestation de services, tout en minimisant les coûts. Ce plan d'action nécessitera une évaluation beaucoup plus large des ressources en eau et un système résilient conçu pour protéger contre les chocs. De tels chocs peuvent non seulement être déclenchés par les changements climatiques, mais peuvent aussi être touchés – pour le meilleur ou pour le pire – par de multiples autres facteurs, notamment :

- La croissance démographique et l'urbanisation (y compris les migrations amenées par le climat et les conflits) ;
- Les progrès technologiques ;
- La croissante économique ;
- L'aménagement du territoire ; et
- La gestion de la concurrence entre les secteurs.

Dans certains cas, une action dans un secteur connexe peut avoir un impact indirect sur les ressources en eau. Par exemple, la réglementation sur le logement peut influencer sur le ruissellement provenant des zones résidentielles et ainsi contribuer à atténuer les risques d'inondation. La planification de scénarios multiples est donc une bien meilleure stratégie, mais elle doit être entreprise de façon ouverte et inclusive.

La recherche d'un consensus efficace doit être une étape obligatoire. Les cadres multipartites, institutionnalisés au niveau de la ville, sont un moyen efficace de soutenir la prise de décision, en particulier dans le contexte de plusieurs scénarios différents pour l'avenir. La récente crise de sécheresse au Cap, en Afrique du Sud, souligne clairement l'importance d'une stratégie engagée pour l'ensemble de la ville (encadré 8.1). Avoir l'autorité de la ville comme facilitateur offre un point de référence auquel les autres parties prenantes peuvent fixer leurs propres engagements et favorise l'idée de responsabilité et d'appropriation.

Il n'existe pas de méthode prescriptive permettant d'aborder la résilience des ressources en eau en milieu urbain. Chaque situation est différente et nécessite une analyse indépendante.

8.4.2 Identifier des secteurs critiques de la pénurie d'eau

Bien que les changements climatiques aient déjà un impact considérable sur les ressources en eau, les demandes de la population croissante et de l'urbanisation intensifieront davantage le stress hydrique (défini ici comme un taux d'exploitation de l'eau de plus de 40 %) dans de nombreux bassins à travers le monde, en particulier dans les régions densément peuplées des économies en développement. On estime que d'ici à 2050, 40 % de la population mondiale vivra en conditions de stress hydrique (figure 8.2), y compris presque toute la population du Moyen-Orient et de l'Asie du Sud, et d'importantes parties de l'Afrique du Nord et de la Chine. Au niveau mondial, le taux d'épuisement des eaux souterraines a doublé entre 1960 et 2000, soit 280 km³ par an en 2000 (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014). À moins que de bonnes stratégies de gestion ne soient mises en place, ces facteurs entraîneront des risques énormes pour la vie (OCDE, 2012).

La pénurie peut être due à la limitation des sources et/ou à l'augmentation de la demande, ainsi qu'à l'incapacité d'investir dans une diversité de sources, mais également à des défis institutionnels et de gestion. La capacité limitée des fournisseurs de services des autorités locales se traduit par des niveaux élevés d'eau « non comptabilisée », ce qui, à son tour, réduit le recouvrement des recettes et entraîne ainsi un manque de ressources pour le fonctionnement et l'entretien. Ce cercle vicieux est une réalité dans de nombreux petits services publics en Afrique subsaharienne.

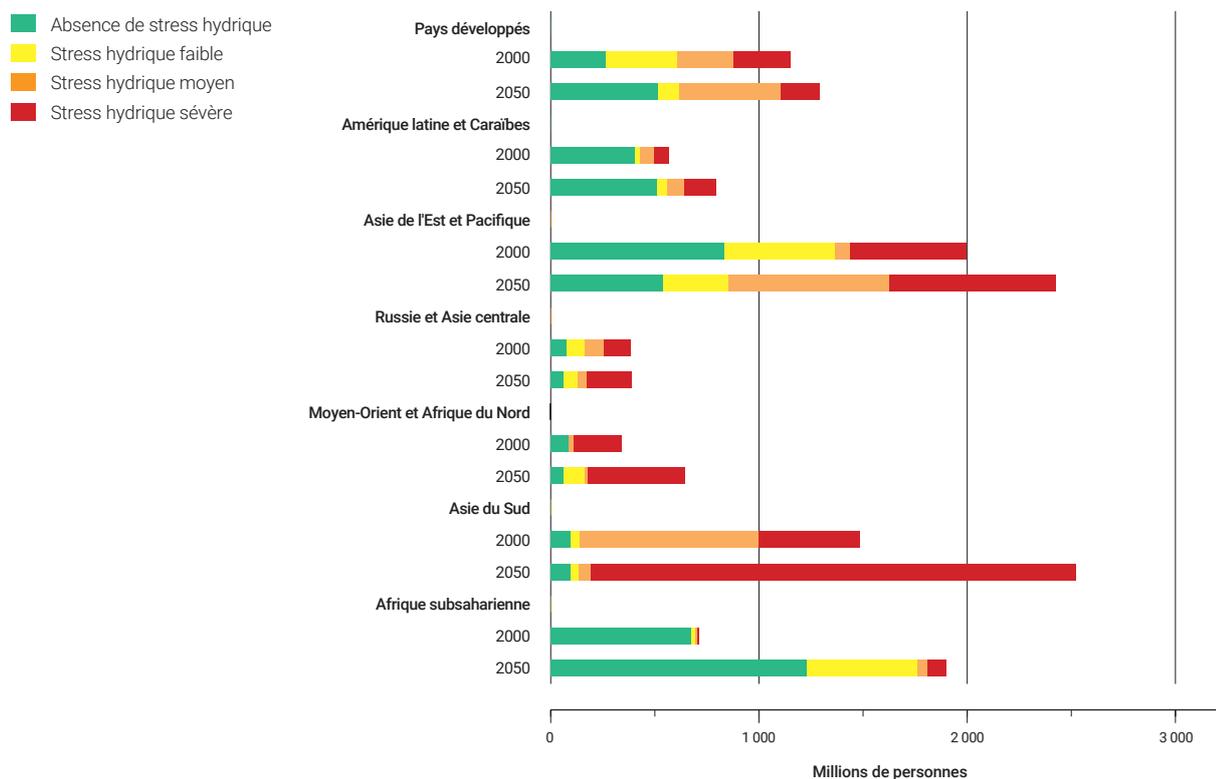
La pénurie est souvent perçue en raison de la concurrence pour les ressources. Dans les petits établissements urbains et ruraux, l'utilisation des ressources en eau par le secteur agricole et, dans certains cas, par le secteur industriel réduit la disponibilité pour les usages domestiques. La pénurie dans un secteur est parfois mieux prise en charge par des actions dans un autre secteur. Ainsi, l'amélioration des pratiques d'irrigation ou l'optimisation des processus industriels peuvent permettre de libérer de l'eau pour les utilisateurs domestiques. À cet égard, l'une des principales préoccupations est que l'approvisionnement domestique doit être prioritaire dans le cadre des droits de l'homme d'accès à l'eau et à l'assainissement.

L'exemple de la ville du Cap, présenté dans l'encadré 8.1 démontre comment une pénurie induite par le climat a été abordée en adoptant une nouvelle approche de gestion.

8.4.3 Part de l'empreinte de l'urbanisation sur les ressources en eau

Dans de nombreux contextes, l'urbanisation peut entraîner la destruction des écosystèmes qui fournissent l'eau et les autres ressources naturelles nécessaires à une croissance durable. À mesure qu'une ville grandit et s'étend, la pression sur les écosystèmes locaux peut augmenter à tel point que, pour survivre, la ville doit chercher des solutions ailleurs, augmentant ainsi son empreinte. Dans la pratique, cela peut vouloir dire exploiter des bassins éloignés ou pas encore développés. La ville de Dakar en est une bonne illustration : elle dépend du lac de Guiers, situé à environ 250 km. Les

Figure 8.2 Nombre de personnes vivant en conditions de stress hydrique selon le scénario de référence*



* Le « scénario de référence » est issu du troisième « Perspectives de l'environnement » publié par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2012). Il suppose qu'aucune nouvelle politique n'est introduite et fournit un point de référence pour évaluer les différentes variantes de politiques.

Source : PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2014, fig. 2.6, p. 21). Attribution 3.0 non transposé (CC BY 3.0).

autorités responsables de l'approvisionnement en eau ne sont pas toujours celles qui sont responsables de la gestion des bassins versants. Les communautés principalement rurales qui survivent grâce à la pêche et à l'agriculture de subsistance autour du lac de Guiers ont un impact potentiellement plus important sur cette ressource en eau que les citoyens de Dakar. Les interventions visant à sécuriser l'approvisionnement en eau de Dakar sont donc directement liées aux activités de subsistance des communautés riveraines éloignées (Cogels et al., 2001). Dans ces cas, les systèmes de paiement pour les services environnementaux peuvent être bénéfiques à la fois pour la population urbaine et pour les communautés qui vivent autour de la source (WWAP/ONU-Eau, 2018).

D'un autre côté, le rejet des eaux usées peut également avoir un impact considérable sur les utilisateurs situés en aval. L'agglomération d'Accra-Tema au Ghana tire son eau de la rivière Densu. En raison des activités en amont, notamment l'extraction de sable, le lavage automobile et les rejets d'effluents des usines de traitement des eaux usées, la qualité de l'eau dans la rivière est si mauvaise qu'elle est à peine considérée, sur le plan économique, comme source d'eau potable (Yeleliere et al., 2018).

L'expansion urbaine rapide entraîne souvent l'utilisation de terrains de qualité marginale pour la construction de maisons et d'infrastructures. Tel est le cas dans les milieux humides, les marécages et les plaines inondables aux limites d'une ville. La destruction de ces systèmes naturels peut avoir un effet important sur le stockage de l'eau et la capacité de stockage de l'eau pendant les périodes de précipitations extrêmes ou de sécheresse.

Encadré 8.1 Stratégie collaborative sur les ressources en eau après la sécheresse au Cap

La crise de l'eau au Cap, en Afrique du Sud, a été provoquée par une pénurie régionale au Cap-Occidental. Les niveaux des réservoirs avaient diminué depuis 2015, et entre la mi-2017 et la mi-2018, les niveaux d'eau se situaient entre 15 et 30 % de leur capacité totale (CSAG, s.d.).

La crise a conduit à l'élaboration d'une stratégie à long terme de protection des ressources, selon une approche holistique. Cette stratégie définit les engagements de la municipalité métropolitaine du Cap et de ses citoyens. Les relations de collaboration sont basées sur la confiance, et la confiance s'installe lorsqu'il y a transparence et responsabilité mutuelle, et lorsque les intentions déclarées de tous les partenaires sont systématiquement traduites en actions. Les principes fondateurs de cette stratégie sont les suivants :

1. Accès sécuritaire à l'eau et aux services d'assainissement. La municipalité métropolitaine de la ville du Cap s'efforcera de fournir et de faciliter un accès sûr à l'eau et à l'assainissement pour tous ses résidents selon des normes minimales bien définies. La ville travaillera notamment avec les communautés dans les établissements informels et avec d'autres parties prenantes pour améliorer l'expérience quotidienne de l'accès à l'eau et à l'assainissement, en mettant l'accent sur la confiance et l'accroissement de la sécurité au sein de ces communautés.
2. Utilisation rationnelle. Le Cap encouragera l'utilisation rationnelle des ressources en eau par tous les utilisateurs, notamment grâce à : a) la tarification de l'eau en fonction du coût de la fourniture d'un approvisionnement supplémentaire, tout en s'engageant à fournir gratuitement une certaine quantité d'eau de base à ceux qui n'ont pas les moyens de la payer ; b) la révision des règlements et des exigences de planification, et l'utilisation d'autres moyens d'incitation visant à soutenir l'efficacité des ressources en eau ainsi que le traitement et la réutilisation des eaux usées ; c) le soutien à la citoyenneté active en améliorant sensiblement la gestion et l'engagement des clients ; d) la gestion efficace du réseau d'eau afin de réduire les pertes et les ressources en eau non comptabilisées.
3. Des ressources en eau suffisantes et fiables provenant de diverses sources. Le Cap développera, de façon rentable et en temps opportun, de nouvelles sources d'approvisionnement en eau (qui pourraient inclure les eaux souterraines et l'eau réutilisée et dessalée) afin d'accroître la résilience et de réduire considérablement la probabilité de graves restrictions d'eau à l'avenir. La municipalité s'est engagée à augmenter l'offre disponible d'environ 300 millions de litres par jour au cours des dix prochaines années, et par tranches appropriées par la suite, selon une approche flexible et robuste face aux changements de circonstances.
4. Avantages partagés des ressources en eau régionales. La ville du Cap travaillera avec les principaux intervenants et partenaires, y compris d'autres utilisateurs des ressources en eau en milieu urbain et agricole, et d'autres sphères du gouvernement, ceci dans le but de tirer le meilleur parti des possibilités d'optimiser les avantages économiques, sociaux et écologiques des ressources régionales en eau, et de réduire les risques. À cette fin, la ville aura recours à des processus de collaboration.
5. Une ville sensible à l'eau. Le Cap facilitera activement sa transformation au fil du temps en une ville sensible à l'eau qui fait un usage optimal des eaux pluviales et des voies navigables urbaines à des fins de contrôle des inondations, de recharge des aquifères, de réutilisation de l'eau et de loisirs, fondés sur de solides principes écologiques. Elle le fera au moyen de nouveaux moyens d'incitation et de nouveaux mécanismes de réglementation, ainsi que par des investissements dans de nouvelles infrastructures.

Source: *City of Cape Town (2019)*.

Par conséquent, les personnes en charge de la planification pour une meilleure résilience des ressources en eau en milieu urbain doivent regarder bien au-delà des limites d'une ville et tenir compte des répercussions à long terme de l'expansion urbaine sur la sécurité de ces ressources. Cela nécessitera une consultation plus large afin d'inclure les connaissances écologiques souvent disponibles localement, et ce au cours de décennies d'observation et de bonnes pratiques.

8.4.4 Méthodes novatrices d'adoption de la résilience pour les autorités locales et les services publics

Les services publics d'approvisionnement en eau et de traitement des eaux usées peuvent conduire et diriger le changement en cas de transition d'une approche de maintien du statu quo axée sur la prestation de services au coût le plus bas à un plan stratégique prospectif. Ces plans doivent couvrir à la fois des solutions à court terme et des actions à long terme visant à promouvoir une fourniture efficace des services tout en tenant compte de la préparation aux situations d'urgence et des investissements à long terme.

On peut compter parmi les solutions à court terme la gestion de la demande d'eau, l'un des outils les plus rentables pour atténuer la pénurie. La gestion de la demande d'eau combine efficacement la réduction des fuites et la promotion d'une culture d'économie d'eau et d'autres instruments commerciaux et institutionnels. Il devient donc moins urgent d'effectuer des investissements supplémentaires afin de concevoir de nouveaux projets d'approvisionnement, ce qui permet d'économiser de l'argent à long terme. Dans une situation où les pertes liées au système sont élevées, cela devrait être une condition préalable pour tout futur projet d'approvisionnement en eau. La pénurie d'eau à São Paulo, au Brésil, en est un bon exemple (encadré 8.2).

Le fait de s'empêtrer dans des investissements coûteux et inappropriés à long terme peut grandement limiter les réponses futures, réduire la résilience et rendre les villes extrêmement vulnérables. Les scénarios futurs étant incertains, il faudra fournir tous les efforts possibles pour adopter des approches flexibles, en mettant l'accent sur les actions à court terme et sans grand regret. Il en va de même pour le renforcement des capacités. L'expérience de São Paulo montre que l'élément de confiance entre les autorités et les citoyens est également très important.

En résumé, dans de nombreux pays et villes, il est désespérément nécessaire d'élaborer des cadres stratégiques. Il est difficile d'évaluer qui est responsable au sein du gouvernement et quelles mesures sont nécessaires, et cela dépend des structures existantes. Il est très probable, compte tenu de la nature intégrée des mesures nécessaires, que la responsabilité incombe à un ministère ou à un organisme national de planification.

8.5 Conclusions et recommandations

1. Pour bien comprendre les effets directs et indirects de la gestion de l'eau en milieu urbain sur la résilience aux changements climatiques, il est essentiel de comprendre les enjeux plus larges liés au développement durable urbain. Les effets de l'urbanisation des communautés sur les écosystèmes locaux proches ou éloignés, y compris les terres humides d'importance cruciale, doivent également être examinés attentivement (Fitzgerald, 2018).
2. La planification future des divers scénarios visant à soutenir la résilience de l'eau en milieu urbain et du climat est nécessaire pour assurer la bonne combinaison d'interventions à court terme et sans regret. Les plans d'investissement à grande échelle et à plus long terme peuvent répondre aux préoccupations réelles des villes et des agglomérations urbaines. Il existe une vaste gamme de solutions issues de la technologie, de l'ingénierie et fondées sur la nature (SfN) visant à assurer la résilience urbaine. Les meilleures solutions à adopter sont cependant propres à chaque contexte.
3. Il est important que les acteurs au niveau de la ville, et en particulier les autorités locales et les services publics, conduisent et guident les autres parties prenantes dans une approche unifiée, grâce à des consultations multipartites et des campagnes et un plaidoyer réussis. Il faut mettre l'accent sur les consultations avec toutes les parties prenantes, en particulier les personnes les plus touchées par les changements climatiques, la pénurie d'eau et la discrimination.
4. Une analyse complète des scénarios futurs peut être rendue possible par une meilleure compréhension des conditions écologiques en amont et en aval, dans les zones où l'eau est extraite et les eaux usées rejetées. Dans les cas de transferts entre bassins, il est nécessaire d'effectuer une analyse complète, avec la participation des communautés, des citoyens ou des responsables de la ville afin d'assurer la viabilité à long terme de ces projets.



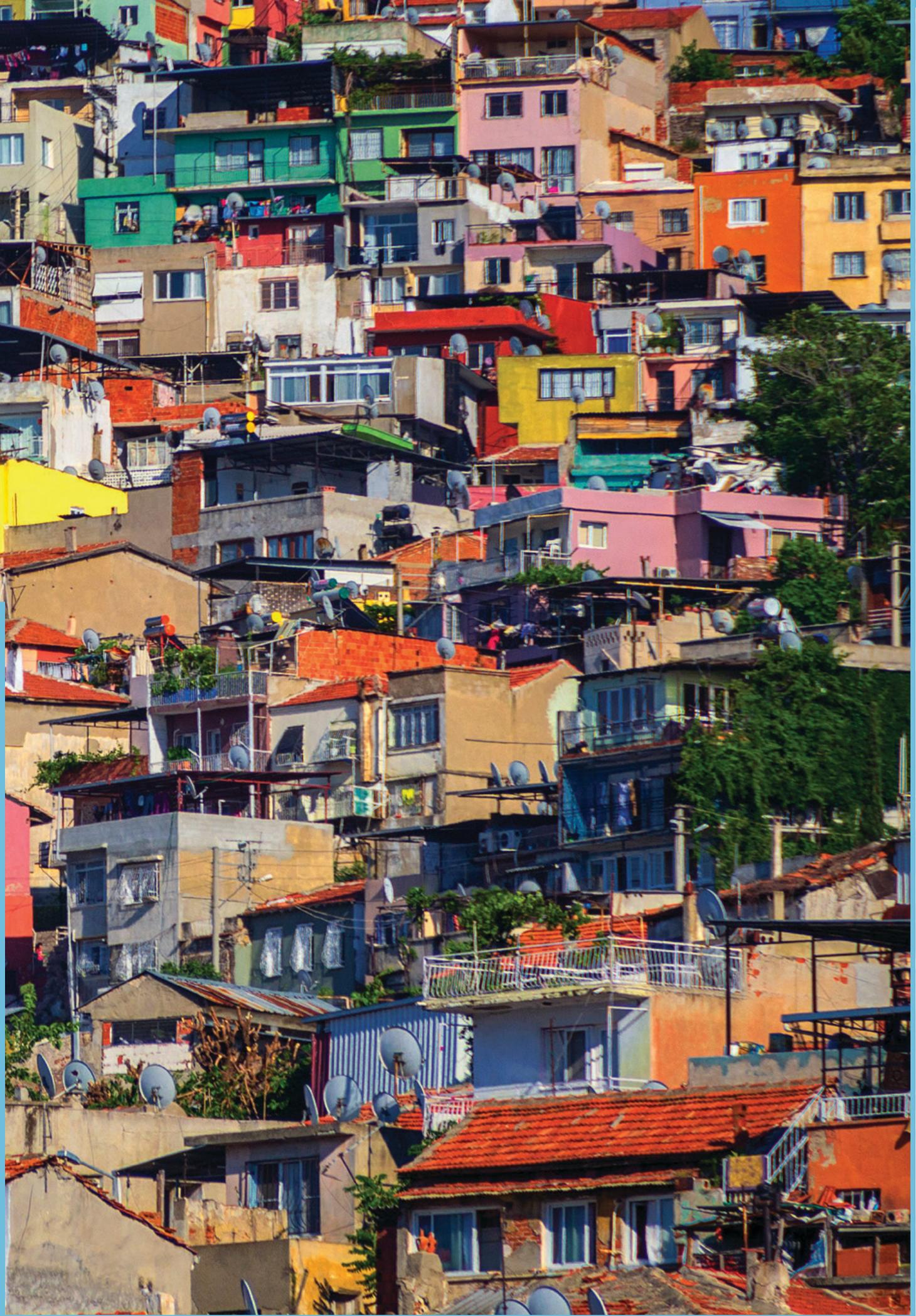
Encadré 8.2 Analyse de la pénurie d'eau à São Paulo, Brésil

En 2015, le réseau de distribution d'eau de la région métropolitaine de São Paulo (MRSP) était au bord de l'effondrement. Les maisons approvisionnées exclusivement par le réservoir de Cantareira étaient les plus vulnérables. Selon les données de la Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo S.A. (Société d'assainissement de l'État de São Paulo – SABESP), le 23 avril 2015, les six principales sources fluviales qui approvisionnent le MRSP contenaient 305 milliards de litres d'eau, alors que les mêmes sources s'élevaient à 558 milliards de litres à la même période en 2014. Cela signifie que malgré les précipitations supérieures à la moyenne en janvier et février, la situation était critique. Alors qu'en 2014 il y avait encore un volume utilisable dans le système Cantareira, en 2015 la ville a dû puiser dans la réserve technique.

Une crise de l'eau comme celle-ci peut devenir l'occasion de parvenir à une consommation d'eau plus efficace et durable, d'éviter les pertes et la pollution et de promouvoir la participation des citoyens. Pour ce faire, les mesures suggérées et les scénarios projetés doivent être assez clairs pour obtenir la confiance et le soutien des citoyens, grâce à des informations sur l'ampleur « réelle » de la crise et les mesures à prendre.

Il est important d'analyser la question du point de vue des opportunités, car la crise a révélé un potentiel catalyseur pour les progrès structurels dont le pays avait besoin. La crise a permis de définir des grands travaux structurels pour les États de São Paulo et de Rio de Janeiro, financés principalement par le gouvernement fédéral. La crise de l'eau a également donné lieu à de profondes discussions sur des questions polémiques comme la transposition des rivières (la sécheresse dans le nord-est du Brésil avait duré au moins trois ans), les pertes élevées dans le réseau d'approvisionnement (estimé à environ 37 %), les conflits d'intérêts dans le modèle de concession pour les entreprises privées ou à capital mixte, l'ingérence politique dans des questions techniques, la négligence du gouvernement, la nécessité de disposer de sources d'eau alternatives (telles que les eaux récupérées, les eaux de pluie, les eaux souterraines et même les technologies de dessalement), l'évaluation des comportements individuels et collectifs en matière de durabilité et la nécessité d'améliorer le modèle de communication institutionnelle et sociale.

Source : Soriano et al. (2016).



9

Liens entre l'eau, le climat, l'énergie, l'alimentation et l'environnement



S'appuyant sur les informations et les analyses fournies aux chapitres 3 à 8, ce chapitre s'étend sur les liens entre les principaux secteurs d'utilisation de l'eau et décrit l'importance des conséquences sur les autres des décisions prises. Il souligne la nécessité d'une approche consolidée pour faire face aux changements climatiques liés à l'eau afin d'optimiser les avantages connexes et d'aborder les concessions réciproques.

9.1 Considérer les liens entre les secteurs

Les chapitres précédents ont mis l'accent sur les moyens d'adaptation et d'atténuation des changements climatiques à travers une meilleure gestion de l'eau dans différents secteurs et avec différentes parties prenantes dans le cadre de l'utilisation de l'eau. La lutte contre les changements climatiques par la gestion de l'eau devrait s'appuyer sur une réponse coordonnée qui parvient à un équilibre entre les différents objectifs sectoriels et les besoins de tous les utilisateurs de l'eau, y compris l'environnement. Toutefois, les différents secteurs et parties prenantes peuvent faire face à divers défis en ce qui concerne la gestion de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets. Les liens souvent étroits entre ces groupes peuvent, dans certains cas, mener à des synergies et à des bénéfices croisés et, dans d'autres cas, exiger des compromis. La portée et l'ampleur des possibilités et des compromis varieront également en fonction des connaissances disciplinaires, des capacités, des besoins et des objectifs particuliers des différents groupes. Il est donc important d'effectuer des analyses intersectorielles et transfrontalières afin d'optimiser les bienfaits globaux. En outre, alors que l'approche interdépendante est théoriquement symétrique, il reste à aborder la question sous différents angles, notamment en ce qui concerne l'eau et les changements climatiques, afin de mieux comprendre les liens et de combler les lacunes en matière de connaissances dans différentes disciplines (Lui et al., 2017).

9.1.1 Dimension énergétique

L'exploitation des ressources en eau nécessite de l'énergie. En 2014, le captage, la distribution et le traitement de l'eau et des eaux usées représentaient environ 4 % de la consommation mondiale d'électricité, ainsi que 50 millions de tonnes²² d'énergie thermique²³ (principalement le diesel utilisé pour les pompes d'irrigation et le gaz dans les usines de dessalement), et d'ici à 2040 la quantité d'électricité utilisée dans le secteur de l'eau devrait presque doubler (figure 3.2). Les besoins en énergie pour l'irrigation et l'eau potable augmentent encore lorsque l'eau doit être acheminée sur de longues distances ou à partir de nappes phréatiques plus profondes, ou encore lorsque la qualité de la source diminue. Il est prévu que le dessalement et le traitement des eaux usées enregistrent la plus forte consommation d'électricité (AIE, 2016), bien que le second soit un processus à énergie positive (transformation des boues en énergie) et que la technologie moderne conduise à une diminution de la consommation d'énergie dans les années à venir (section 9.1.4). Par conséquent, toute réduction de l'utilisation de l'eau, grâce à de plus grandes économies d'eau (c'est-à-dire la gestion de la demande) ou à une meilleure efficacité de l'utilisation et du traitement de l'eau (par exemple, la réduction des fuites), a le potentiel de réduire la demande énergétique du secteur de l'eau et donc de contribuer à atténuer les changements climatiques si cette source d'énergie provient de combustibles fossiles.

²² Tonnes d'équivalent en pétrole.

²³ La consommation d'énergie par le secteur de l'eau [en 2014] est à peu près égale à l'ensemble de l'énergie utilisée par l'Australie (AIE, 2016).

Inversement, la production énergétique nécessite également de l'eau. Bien que cela soit probablement plus évident dans le cadre de la culture de biocarburants ou de l'exploitation de combustibles fossiles (par exemple, fracturation hydraulique), les processus de refroidissement dans la production d'énergie thermique représentent en fait la plus grande part en termes d'utilisation d'eau du secteur énergétique (section 7.3.1). Si le refroidissement peut avoir une incidence sur la disponibilité de l'eau par des pertes en évaporation, les réservoirs hydroélectriques peuvent également « consommer » de grandes quantités d'eau par évaporation (Hogeboom et al., 2018). Les barrages et les réservoirs artificiels modifient également les systèmes hydrologiques, ayant ainsi un impact sur le fonctionnement des écosystèmes et de leurs services et affectant davantage la disponibilité et la qualité de l'eau. L'irrigation en vue de la production de biocarburants (encadré 9.1) non seulement consomme de l'eau, mais peut aussi avoir un impact sur la qualité de l'eau par le ruissellement des sédiments, des nutriments et des produits agrochimiques, la rendant moins adaptée à d'autres utilisations. Grâce à leurs très faibles besoins en eau, les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire photovoltaïque (PV) et certains types de production d'énergie géothermique sont de loin les meilleures alternatives énergétiques du point de vue de la demande en eau (WWAP, 2014).

Encadré 9.1 Biocarburants

On estime que la production de biocarburants utilise environ 2 à 3 % de toutes les ressources en eau et de toutes les terres agricoles du monde (Rulli et al., 2016). Les biocarburants représentent également 7 % de tous les prélèvements d'eau liés à l'énergie (plus que le pétrole et le gaz dans la production d'énergie primaire), ainsi que des quantités importantes pour la vapeur dans la fermentation (AIE, 2016). Les besoins en eau pour les biocarburants sont fonction du type de culture, c'est-à-dire si elles sont irriguées ou non (AIE, 2016). Si elles sont irriguées, les besoins diffèrent selon la région et la plante cultivée (la canne à sucre, le maïs et le soja étant les plus exigeants en eau) et selon l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Les biocarburants de deuxième génération, fabriqués à partir de divers types de biomasse non alimentaire, sont prometteurs en termes de réduction de la quantité d'eau utilisée. À l'heure actuelle, ils comprennent principalement les déchets agricoles, alimentaires et municipaux, l'eau étant utilisée pour les besoins initiaux de la culture. Cependant, les chiffres liés à l'utilisation de l'eau augmenteraient si des cultures spéciales étaient dédiées aux biocarburants avancés. En théorie, les biocarburants seraient plus adaptés à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) que les combustibles fossiles parce que le CO₂ qu'ils émettent lors de leur combustion est compensé par le CO₂ qu'ils captent pendant leur croissance (Biocarburant, s.d.a). Cependant, ils ne sont pas neutres en carbone en raison de l'énergie nécessaire pour cultiver et transformer la culture, ainsi que pour le défrichage, la culture du sol, la plantation et l'irrigation. Si on ajoute cela aux émissions de GES provenant de la combustion de biocarburants et de leur distribution au client, le résultat est un ajout net aux émissions de CO₂ (Biofuel, s.d.a. ; s.d.b). Cette situation est encore aggravée par les changements dans l'utilisation des terres, parce que plus de CO₂ est libéré lorsque les terres indigènes sont défrichées et drainées, et la quantité de CO₂ absorbée par les plantes d'origine est perdue. La forêt d'origine étant plus efficace dans le captage et le stockage du CO₂ que les cultures de biocarburants, la déforestation des terres indigènes pourrait causer une « dette » de carbone qui prendrait des centaines d'années à rembourser (Biocarburant, s.d.b). Bien que la biotechnologie la plus conventionnelle ait permis de réduire de moins de 40 % les émissions de GES par rapport aux combustibles fossiles (Doornbosch et Steenblik, 2007), d'autres analyses du cycle de vie suggèrent que de telles mesures sont assez incertaines (Hanaki et Portugal-Pereira, 2018).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2012) a souligné qu'il était plus difficile de faire des projections concernant la croissance de la production de biocarburant que celle des autres énergies renouvelables, en raison des incertitudes liées aux nombreux mécanismes de rétroaction et aux différences régionales potentiellement importantes. Par exemple, la production de bioénergie à grande échelle (sans mesures complémentaires) peut avoir des effets négatifs sur la déforestation et entraîner des émissions de CO₂ plus élevées dues à la modification de l'utilisation des terres, des pertes d'azote et de l'augmentation des prix alimentaires (Humpehöder et al., 2018). Malgré le potentiel des biocarburants, il faut tenir compte de l'équilibre entre l'utilisation nette de l'eau et les émissions nettes de GES, et il faut prendre des décisions propres à chaque cas et en fonction des circonstances locales, afin d'être en mesure de faire des concessions réciproques plus générales.

9.1.2 Perspective des secteurs alimentaire et agricole

Les mesures d'efficacité de l'eau en agriculture peuvent accroître la disponibilité de l'eau et réduire l'énergie nécessaire au pompage et la quantité d'eau nécessaire à la production d'énergie. Cette réduction de la demande en énergie peut également entraîner une réduction des GES et l'atténuation des changements climatiques. Les bénéfices croisés peuvent ainsi conduire à des améliorations positives. De même, une utilisation plus fréquente des énergies renouvelables dans le secteur de l'agriculture (par exemple, pompes solaires photovoltaïques) et une plus grande efficacité énergétique offrent également des possibilités supplémentaires de réduire les émissions de GES et de soutenir les moyens de subsistance des petits exploitants (encadré 6.4).

Toutefois, la réalité est que l'amélioration de l'efficacité des techniques d'irrigation (par exemple, irrigation goutte-à-goutte) à l'échelle de l'exploitation agricole n'a que très rarement conduit à des économies d'eau à grande échelle (FAO, 2017c ; Koech et Langat, 2018) ; c'est plutôt la production agricole qui a augmenté en utilisant au total les mêmes volumes d'eau. Cela renforce l'importance cruciale de l'agriculture de conservation (chapitre 6), qui permet aux sols de retenir plus d'eau (réduisant ainsi davantage la demande d'eau et d'énergie), de matière organique (carbone) et de nutriments (WWAP/ONU-Eau, 2018). De cette façon, l'agriculture de conservation contribue directement à l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques, avec des avantages écologiques supplémentaires et une production durable d'aliments et de fibres.

Éviter la perte et le gaspillage d'aliments constitue une autre façon de réduire les émissions de GES. On estime que de 25 à 30 % du total des aliments produits sont perdus ou gaspillés à tous les stades des chaînes d'approvisionnement alimentaire (FAO, 2013b ; GIEC, 2019c). En se décomposant, les déchets alimentaires libèrent des GES. Entre 2010 et 2016, la perte et le gaspillage alimentaires à l'échelle mondiale ont représenté de 8 à 10 % des émissions anthropiques totales de GES²⁴ (GIEC, 2019c), un taux qui pourrait dépasser 10 % d'ici 2050 (Hiç et al., 2016). Étant donné que l'agriculture représente 69 % des prélèvements d'eau mondiaux (AQUASTAT, 2014), la réduction des déchets alimentaires pourrait également avoir des répercussions importantes sur la demande en eau (et en énergie), offrant ainsi un moyen d'adaptation (soulagement du stress hydrique) et d'atténuation (grâce à la réduction de la consommation d'énergie).

9.1.3 Perspective de l'utilisation des terres et de l'écosystème

La biomasse et les sols des forêts, des zones humides et des prairies gérées de manière judicieuse offrent des possibilités d'atténuation par le biais de la séquestration du carbone (GIEC, 2019c), avec des avantages supplémentaires importants en ce qui concerne le cycle des éléments nutritifs et la biodiversité. Cependant, même si les écosystèmes sains peuvent capturer le carbone à un rythme qui dépasse de loin les efforts humains, les écosystèmes dégradés eux, de puits de carbone, peuvent se transformer en sources de carbone. À cet effet, il est essentiel de procéder à une amélioration de la gestion de l'eau pour le maintien et/ou la remise en état d'écosystèmes sains, surtout dans le cas des zones humides, qui abritent les plus grands stocks de carbone de tous les écosystèmes terrestres (Tänzler et Kramer, 2019). Ces écosystèmes fournissent également une « infrastructure verte » de grande valeur pour mieux protéger les sources d'eau, contribuer de façon déterminante à la régulation des flux d'eau et au maintien de la qualité de l'eau. Cependant, « *les impacts des écosystèmes sur l'hydrologie varient grandement, tant à l'intérieur qu'entre les types ou sous-types d'écosystèmes, leur emplacement et leur état, le climat et la gestion ... les arbres par exemple, selon leur type, leur densité et leur emplacement, peuvent augmenter ou diminuer la recharge des eaux souterraines* » (traduction non officielle) (WWAP/ONU-Eau, 2018, p. 27).

Il est donc impératif de prendre pleinement en compte les effets de la modification de l'exploitation des terres, notamment le reboisement/reboisement en particulier, sur les systèmes hydrologiques locaux. En juillet 2019, un article de Bastin et al. décrivant l'énorme potentiel d'atténuation des GES d'intenses efforts de boisement (plus de 1 billion d'arbres sur 900 millions d'hectares), a retenu l'attention du monde entier à travers diverses formes de médias. Bien que les résultats aient fait l'objet d'un vif débat²⁵, ni le document

²⁴ Cette estimation comprend les émissions de GES liées à la production des aliments, ainsi que du processus de décomposition lui-même.

²⁵ Voir www.realclimate.org/index.php/archives/2019/07/can-planting-trees-save-our-climate/.

initial ni ses détracteurs n'ont procédé à un examen approfondi des besoins en eau et des impacts hydrologiques éventuels (ou des avantages potentiels, le cas échéant) d'un tel plan. Cette situation illustre encore plus le fossé général entre les communautés climatologiques et scientifiques de l'eau.

Comme décrit dans le prologue, les projections climatiques à différentes échelles temporelles et spatiales peuvent ou non se traduire par des tendances réelles sur le terrain, en grande partie en raison de la complexité des interconnexions et des boucles de rétroaction entre l'utilisation de l'eau et des terres aux niveaux local et régional. Ce caractère complexe est renforcé par divers processus hydrologiques (infiltration, stockage des ressources en eau dans le sol, recharge, utilisation de l'eau par les plantes, autres utilisations de l'eau), de sorte que les chaînes simplistes de cause à effet ne sont pas nécessairement applicables dans de nombreux cas « réels ». Par exemple, bien que les modèles de circulation générale (MCG) puissent prévoir une augmentation globale des précipitations sur une année (ou même une saison), cela n'implique pas une augmentation de la disponibilité de l'eau (en particulier lorsque l'augmentation des précipitations se présente sous la forme de fortes pluies) et peut plutôt entraîner des périodes de sécheresse plus fréquentes et/ou plus longues, d'où l'importance de l'utilisation durable des terres (encadré 9.2). En effet, « *la mise en œuvre réussie des options d'intervention dépend de la prise en compte des conditions environnementales et socioéconomiques locales. Certaines options, comme la gestion du carbone dans le sol, peuvent s'appliquer à un large éventail de types d'utilisation des terres, tandis que l'efficacité des pratiques de gestion des terres liées aux sols organiques, aux tourbières et aux terres humides, et celles qui sont liées aux ressources en eau douce dépendent de conditions agroécologiques spécifiques* (degré de confiance élevé) » (traduction non officielle) (GIEC, 2019c, p. 19).

9.1.4 Perspective de l'approvisionnement en eau, de l'assainissement et du traitement des eaux usées

Au-delà des économies d'énergie liées à une utilisation plus efficace de l'eau mentionnée dans la section précédente, l'amélioration des méthodes de traitement de l'eau, et en particulier des eaux usées, offre un éventail encore plus large de possibilités d'atténuation. Par exemple, la réutilisation des eaux usées non traitées ou partiellement traitées peut réduire la quantité d'énergie liée à l'extraction de l'eau, à son traitement avancé et, dans les cas où les eaux usées sont réutilisées au site de rejet ou à proximité, à son transport.

Comme cela a été décrit à la section 3.3, les eaux usées non traitées sont une source importante de GES. Avec plus de 80 % de toutes les eaux usées (au niveau mondial) rejetées dans l'environnement sans être traitées (WWAP/ONU-Eau, 2018), le traitement de la matière organique avant son rejet peut réduire les émissions de GES. Le biogaz produit à partir des procédés de traitement des eaux usées peut être récupéré et utilisé pour alimenter la station de traitement elle-même, ce qui la rend neutre sur le plan énergétique et améliore encore les économies d'énergie. Les systèmes avancés de traitement des eaux usées offrent également des possibilités de récupération d'autres matières premières, comme les nutriments qui peuvent ensuite être transformés en engrais et vendus sur le marché, ainsi, faisant croître davantage le rendement de l'investissement en générant de nouvelles sources de revenus (WWAP, 2017), ce qui procure des avantages supplémentaires pour la santé humaine et l'environnement.

Toutefois, le traitement des eaux usées peut lui-même entraîner le rejet de certains types de GES. L'oxyde nitreux (N_2O), par exemple, est un puissant²⁶ GES émis pendant le traitement des eaux usées. Bien que ces émissions soient relativement faibles (3 % des émissions anthropiques totales de N_2O estimées), elles peuvent représenter environ 26 % de l'empreinte de GES de l'ensemble de la « chaîne d'approvisionnement en eau » (Kampschreur et al., 2009). Les émissions de N_2O varient considérablement d'une usine à l'autre en raison des différentes conceptions et conditions d'exploitation, ainsi que des concentrations de composés riches en azote (par exemple, l'urine) contenus dans les eaux usées elles-mêmes. En général, les usines qui atteignent des niveaux élevés d'élimination de l'azote émettent moins de N_2O , ce qui indique qu'on peut atteindre une meilleure qualité de l'eau avec moins d'émissions de N_2O (Law et al., 2012). Une meilleure compréhension des processus fondamentaux responsables de la production de N_2O dans les systèmes de traitement des eaux usées devrait permettre d'améliorer la conception et l'exploitation de

²⁶ Le N_2O a un potentiel de réchauffement de la planète (PRP) 265 à 298 fois supérieur à celui du CO_2 (US EPA, s.d.).

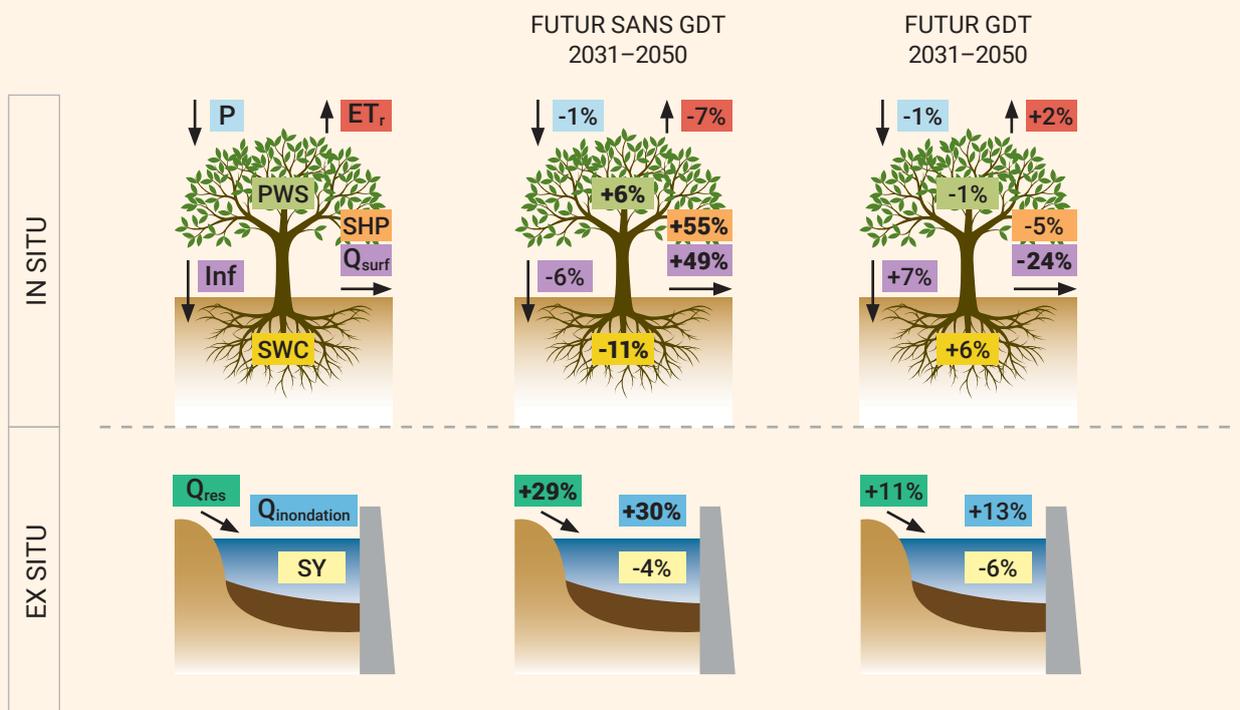
Encadré 9.2 Impacts des changements climatiques et de la gestion durable des terres sur la disponibilité des ressources en eau

Dans le bassin hydrographique semi-aride de la rivière Segura (sud-est de l'Espagne), les changements climatiques devraient entraîner une diminution des précipitations totales et, plus important encore, une augmentation des précipitations extrêmes. Une étude de modélisation a examiné l'incidence de l'augmentation des précipitations extrêmes sur la distribution entre l'eau stockée dans le sol (eau verte) et l'eau stockée dans les réservoirs (eau bleue). Les résultats ont montré que l'eau était redistribuée dans le bassin versant, avec moins d'eau verte, en raison de périodes de sécheresse prolongées, mais plus d'eau bleue, en raison de l'augmentation des précipitations extrêmes et de la diminution de l'infiltration. Les précipitations extrêmes sont également à l'origine d'une augmentation des inondations et de l'érosion du sol, menaçant la sécurité de l'eau dans ce bassin versant (Eekhout et al., 2018).

On encourage de plus en plus les pratiques de gestion durable des terres (GDT) à contribuer à l'atténuation des changements climatiques et à l'adaptation à ce phénomène. Eekhout et De Vente (2019) ont montré que les impacts des changements climatiques sont presque entièrement inversés par la mise en œuvre à grande échelle de la GDT (voir figure dans cet encadré). Les scénarios de GDT évalués ont été définis en étroite collaboration avec les parties prenantes, qui ont identifié la réduction du travail du sol et les modifications organiques comme les pratiques de GDT les plus prometteuses en agriculture pluviale. La GDT augmente la capacité de rétention d'eau du sol, ce qui ç son tour améliore l'infiltration et réduit le stress hydrique des plantes. Lorsque les précipitations extrêmes augmentent sous l'effet des changements climatiques, la mise en œuvre de la GDT atténue cet effet sur les précipitations en réduisant le ruissellement de surface et les processus connexes, comme les inondations, l'érosion du sol et la sédimentation des réservoirs.

Ces résultats soulignent que les changements prévus dans les précipitations totales ne suffisent pas à eux seuls à prévoir le rythme de changement de la disponibilité des ressources en eau au fil du temps. Les phénomènes extrêmes et les pratiques de gestion des terres ont une incidence importante sur la distribution de l'eau entre la surface et le sol. Ces changements peuvent affecter le potentiel de l'agriculture pluviale par rapport à l'agriculture irriguée, qui, elle, dépend de diverses sources d'eau. La GDT peut avoir un effet positif sur l'eau du sol et sur la prévention des inondations, mais elle peut aussi avoir une incidence sur les eaux de surface et les activités économiques qui en dépendent.

Figure Les impacts *in situ* et *ex situ* des changement climatiques et de la mise en œuvre de la gestion durable des terres



Remarque : Le panneau de gauche détermine les indicateurs : P désigne la précipitation ; ETr, l'évapotranspiration réelle ; SHP, le stress hydrique des plantes ; Inf, l'infiltration ; Prod. séd. en susp., la production de sédiments en suspension ; Qsurf, le ruissellement de surface ; Hdité sol, l'humidité du sol ; Qres, le débit entrant dans le réservoir ; Prod. séd., la production de sédiments dans le réservoir et Qinondation, le débit de crue.

Source : Adapté d'Eekhout et De Vente (2019, fig. 1).

Contribution de J. P. C. Eekhout et J. de Vente (Groupe de recherche sur la conservation des sols et des eaux, Centre de sciences appliquées du sol et de biologie du Segura [CEBAS] du Conseil espagnol supérieur de la recherche scientifique [CSIC]).

la centrale. De plus, la récupération de l'azote dans les eaux usées ne nuit pas à la récupération du phosphore et de la cellulose ni à la production de biogaz (Van der Hoek et al., 2018).

Les zones humides artificielles peuvent être efficaces dans le traitement des eaux usées (avec peu ou pas d'apports en énergie supplémentaires), en particulier dans les contextes où une faible technologie et un faible entretien sont dus à des contraintes opérationnelles ; ces zones constituent alors une source d'eau relativement peu coûteuse pour l'irrigation. Bien que la biomasse récoltée dans les zones humides artificielles puisse être utilisée comme source de carburant renouvelable pour les biocarburants de deuxième génération (encadré 9.1) (Avellán et Gremillion, 2019), certaines données suggèrent que ces systèmes agissent comme des sources nettes de GES atmosphériques (Picek et al., 2007 ; Tao, 2015), bien que l'inverse ait également été signalé (De Klein et Van der Werf, 2014).

9.2 Avantages connexes

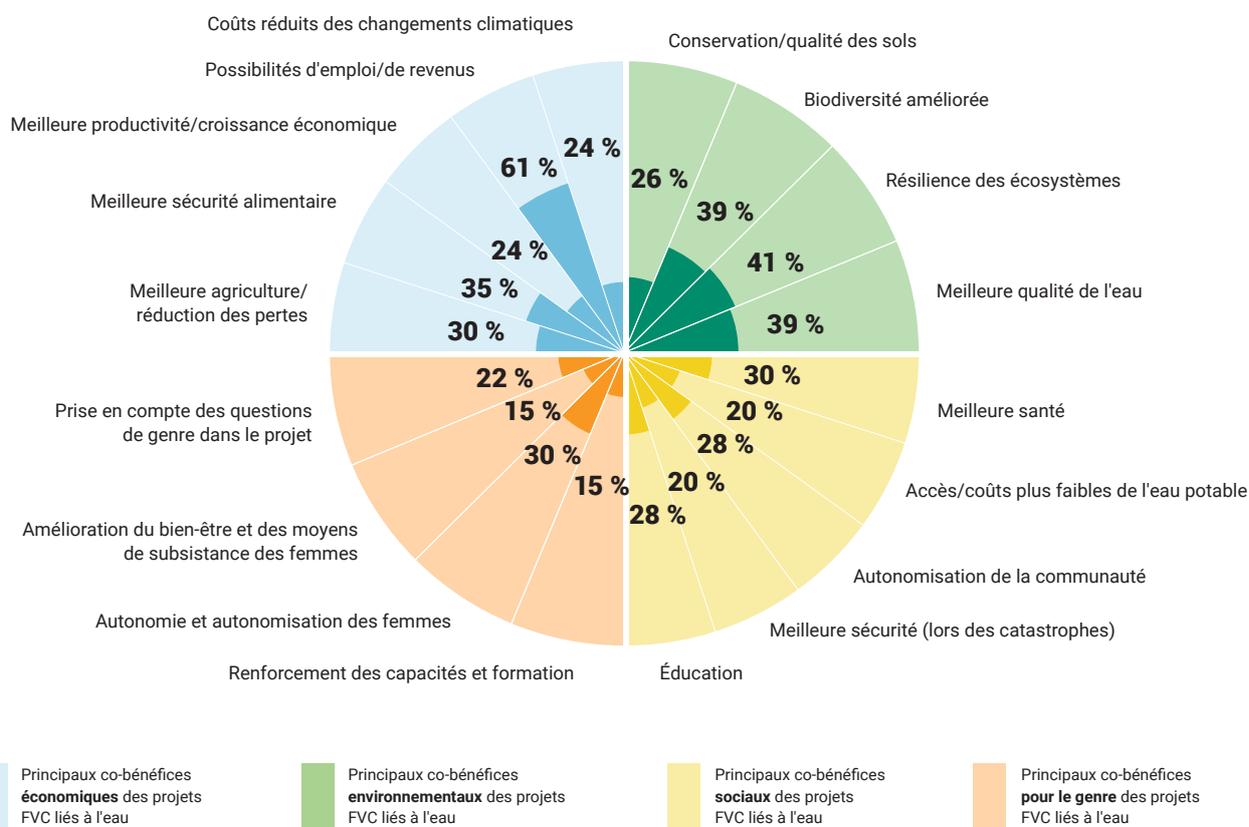
Outre le lien entre l'eau, le climat, l'énergie et l'agriculture, les liens avec d'autres secteurs et groupes de parties prenantes sont souvent solides. Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 reconnaît explicitement le caractère symbiotique des systèmes sociaux, économiques et environnementaux. Les Nations Unies (2018a) ont démontré que l'Objectif de développement durable (ODD) 6 (l'objectif de l'eau) est lié à tous les autres ODD, et que l'eau est souvent un moteur de progrès dans la réalisation d'autres ODD, alors que, dans certains cas, il faut faire des concessions réciproques (chapitre 2). Les progrès vers l'ODD 6 dépendent également des ceux réalisés dans la plupart des autres ODD et, en particulier, de l'ODD 13 (action pour le climat). Cette interconnectivité est illustrée par le cas de l'amélioration du traitement des eaux usées, qui sert non seulement directement les intérêts des ODD 6 (à la fois en termes de réalisation des objectifs d'assainissement et de qualité de l'eau – 6.1 et 6.3) et 13 (ainsi que l'Accord de Paris), mais aussi d'autres ODD (figure 2.1). La santé humaine et les établissements humains (chapitres 5 et 8) font partie des principaux domaines dans lesquels les interventions climatiques liées à l'eau peuvent générer de multiples avantages connexes mutuelles. Cela montre l'importance de la cohérence des politiques, du calendrier approprié et de l'enchaînement des politiques, des réformes et des investissements connexes, comme le décrivent les chapitres 2, 11 et 12.

Une analyse des avantages conjoints des projets liés à l'eau dans le cadre du Fonds vert pour le climat (Tänzler et Kramer, 2019) a révélé dans quelle mesure ils sont intégrés dans le contexte socioéconomique plus large des pays respectifs. Bien que les possibilités d'emploi et de revenu soient considérées comme des retombées mutuelles dans plus de la moitié des projets, l'on distingue également un certain nombre d'autres retombées, allant de l'éducation et du renforcement des capacités/de la formation à la biodiversité et à la sécurité alimentaire (figure 9.1). Pourtant, de nombreuses propositions de projets restent trop concentrées sur l'objectif central et ne décrivent pas pleinement l'orientation plus large (et souvent très importante) du développement. Les propositions de projets liés à l'eau identifiant plusieurs avantages connexes spécifiques (et réalistes) qui peuvent être concrétisées, et décrivant des moyens de mesure de ces retombées, sont plus susceptibles d'obtenir un soutien social, politique et financier (chapitre 12).

En résumé, les mesures d'adaptation et d'atténuation prises par un secteur peuvent influencer directement la demande en eau, ce qui peut à son tour augmenter ou réduire la disponibilité locale/régionale de l'eau (y compris la qualité) pour d'autres secteurs. En cas de réduction de la demande d'eau, de telles mesures peuvent entraîner de multiples bénéfices intersectoriels et transfrontaliers, tandis que l'augmentation de la demande en eau peut entraîner la nécessité de faire des compromis sur l'allocation de ressources limitées.



Figure 9.1 Avantages connexes des projets liés à l'eau dans le cadre du Fonds vert pour le climat



Remarque : FVC : Fonds vert pour le climat.

Source : Tänzler et Kramer (2019).

10

Perspectives régionales



Un hélicoptère déverse un grand volume d'eau sur un feu de brousse pour soutenir les efforts de lutte contre l'incendie des équipes sur le terrain à Bundoora (Melbourne, Australie).

GWP | Monika Weber-Fahr, Anjali Lohani et Ralph Philip

ODI | Nathaniel Mason, Roger Calow, Leo Roberts, Adriana Quevedo et Merylyn Hedger

CEA | Frank Rutabingwa

CEE | Hanna Plotnykova, Sonja Koeppel, Francesca Bernardini et Sarah Tiefenauer-Linardon

CEPAL | Marina Gil, Andrei Jouravlev, Shreya Kumra et Silvia Saravia

CESAP | Solène Le Doze

Bureau de l'UNESCO à Nairobi | Jayakumar Ramasamy et Samuel Partey

CESAO | Carol Chouchani Cherfane

Avec les contributions de : Esra Buttanri, Sara Oppenheimer et Frederik Pischke (GWP) ; Yunxian Jiang (OIM) ; Charlene Watson (ODI) ; Ingrid Dispert (CESAP) ; et Tam Hoang (ONU-Habitat)

Ce chapitre décrit la façon dont la nature et l'ampleur des impacts des changements climatiques liés à l'eau transcendent les frontières nationales autant que les solutions potentielles. Des exemples au niveau des pays et des régions permettent d'avoir une connaissance plus approfondie des défis et des opportunités prioritaires. Ceux-ci démontrent pourquoi et comment les possibilités d'action se présentent dans chaque région.

10.1 Aperçu général

L'adaptation aux impacts des changements climatiques sur l'eau concerne avant tout de la manière dont les ressources en eau est gérée, avec quelles politiques, institutions, outils de gestion et ressources. Les effets des changements climatiques liés à l'eau ne tiennent pas compte des frontières administratives entre les pays et à l'intérieur de ceux-ci. Par conséquent, la gestion intelligente de l'eau face au climat a le plus grand impact lorsqu'elle est élaborée et coordonnée au-delà des frontières nationales. Certaines réponses, telles que les accords de partage de l'eau qui s'adaptent à l'évolution des régimes d'écoulement, doivent être élaborées autour des bassins, qui s'étend très souvent au-delà des frontières politiques et administratives nationales ou infranationales. D'autres réponses, comme le développement de systèmes d'alerte précoce capables de faire face aux extrêmes de précipitations, qui provoquent des inondations ou des sécheresses plus intenses et plus fréquentes (chapitre 4), doivent être conçues au niveau sous-continentale ou même continentale. Ce chapitre examine les implications des dimensions régionales et transfrontalières de l'interface eau-climat.

En général, le dialogue, les accords, les mécanismes de financement et les actions liés au climat ne tiennent pas compte des perspectives régionales. À ce jour, la majeure partie de la politique et de l'action en matière de changements climatiques est encadrée au niveau national et pilotée par les gouvernements nationaux : les négociations dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) sont dirigés et axés sur les États souverains, tout comme de nombreux mécanismes de financement de l'action climatique (chapitre 12) et la majorité des objectifs fixés dans le cadre de du Programme 2030, de l'Accord de Paris et du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe. Sur la base des arguments présentés au chapitre 2, ce chapitre présente l'eau comme **le** « connecteur climatique » international qui mènera à de nouveaux mécanismes de collaboration et de coordination, et contribuera à la réalisation des accords mondiaux sur le développement, les changements climatiques et la réduction des risques de catastrophe (RRC) (ONU-Eau, 2019). Il examine la préparation régionale à relever ces défis, en se référant à la fois à la maturité des pays en matière de gestion des ressources en eau et à leurs stratégies d'adaptation au climat, et également aux contributions déterminées au niveau national (CDN) et en examinant les pays qui relèvent des Commissions régionales (CER) des Nations Unies (ONU)²⁷. Il souligne également le rôle crucial des organisations internationales qui œuvrent au niveau des bassins hydrographiques

²⁷ Il s'agit notamment de la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA), la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE), de la Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC), la Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie occidentale (CESAO) et la Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique (CESAP).

transfrontaliers ou au niveau régional. Au fil des décennies, les agences de l'eau ont mis sur pied de tels acteurs, capables de soutenir des mesures coordonnées et cohérentes d'atténuation et d'adaptation du climat à l'interface eau-climat.

En ce qui concerne l'évolution du climat et le mode d'interaction de ces changements avec l'eau, il existe d'énormes différences au sein des régions et entre elles. Le rapport de 2014 du Groupe de travail II pour la cinquième évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2014a) reste la dernière évaluation mondiale du GIEC, région par région. Il fournit un contexte très pertinent sur la science physique, en termes de changements dans les fortes précipitations, la sécheresse et la sécheresse à une échelle sous-continentale. Ces grands changements auront eux-mêmes des répercussions régionales variables liées aux ressources en eau, notamment au ruissellement, à l'évapotranspiration, aux risques d'inondation et à la qualité de l'eau, qui dépendent de facteurs locaux comme l'utilisation des terres et l'hydrogéologie. Toutefois, comme il est décrit dans le prologue, les effets futurs des changements climatiques sur le cycle hydrologique sont assez incertains, en particulier au niveau du bassin et du sous-bassin. Et on sait peu de choses sur l'interface entre le climat et l'eau en ce qui concerne les eaux souterraines (Taylor, 2009 ; Gleeson et al., 2012).

En soutien aux pays, les communautés politiques régionales doivent évaluer les impacts, les vulnérabilités et les voies d'adaptation dans leurs contextes géographiques et décisionnels (GIEC, 2014a). L'Initiative régionale pour l'évaluation des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et la vulnérabilité socioéconomique dans la région arabe (RICCAR), établie par la CESAO avec dix autres organisations, en est un bon exemple. L'Initiative met fortement l'accent sur la mobilisation et le renforcement des institutions pour l'évaluation du changement climatique à l'échelle nationale et régionale, et le domaine arabe RICCAR a été adopté en tant que domaine du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord de l'Expérience régionale coordonnée de réduction du climat (CORDEX) (UNESCWA et al., 2017).

10.2 Lutte contre les impacts des changements climatiques liés à l'eau dans les pays et les régions

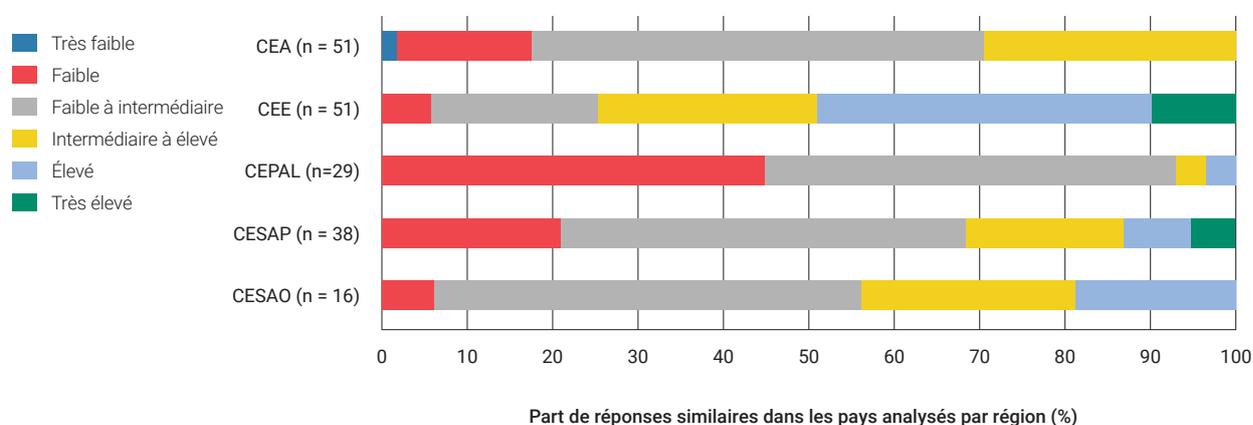
Les effets physiques des changements climatiques sur l'eau ne constituent qu'une des sources de variation entre les régions et à l'intérieur de celles-ci. Autres sources de variation, la capacité d'adaptation, notamment les politiques, les plans et les capacités de gestion pour faire face aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les secteurs tributaires de ces ressources.

10.2.1 Approches intégrées et transfrontalières

La lutte contre les changements climatiques à par les ressources en eau nécessite l'adoption d'*approches intégrées* : investir dans des informations de meilleure qualité et plus accessibles, des institutions plus fortes et plus souples et des infrastructures naturelles et artificielles pour le stockage, le transport et le traitement de l'eau ; agir à tous les niveaux, notamment local, national et mondial, des bassins fluviaux ; équilibrer et séquencer les investissements matériels et immatériels ; gérer les compromis intersectoriels et géographiques ; éviter les conséquences de la mauvaise adaptation ; équilibrer les priorités en matière d'équité, d'environnement et d'économie et tirer parti des avantages de l'adaptation et de l'atténuation. Les composantes essentielles d'un système de gestion des ressources en eau pouvant répondre au changement climatique sont bien connues et comprennent par exemple : des accords de partage de l'eau fondés sur une évaluation solide des ressources en eau et des systèmes de comptabilité de l'eau pouvant répondre aux changements et à la variabilité climatiques (GWP, 2019a). Il y a plus de quinze ans, le Programme d'action national d'adaptation (PANA) de la Mauritanie reconnaissait déjà la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) comme l'une des « *solutions pertinentes en matière d'adaptation aux changements climatiques* » en mentionnant des pratiques et des actions telles que « *l'évaluation régulière de la disponibilité des ressources en eau et de la demande* », « *la mise en place d'un système de suivi et d'atténuation des impacts liés à ... du développement (...) durable respectueux de la préservation de l'environnement* » et « *règles de gestion afin de prévenir les conflits d'usages* » (République islamique de Mauritanie, 2004, p. 26–27).

Le Programme 2030 reconnaît que les pratiques de GIRE seront nécessaires pour garantir la *l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et garantir la gestion durable des ressources en eau*, comme le stipule l'Objectif du développement durable 6 (ODD 6). L'indicateur a été fixé pour le suivi des pratiques de gestion (6.5.1). Bien que la note de l'ODD 6.5.1 d'un pays ne concerne pas spécifiquement la capacité des pratiques de gestion des ressources en eau à faire face au changement climatique, elle reflète une auto-évaluation de la maturité des systèmes de gestion des ressources d'un pays, notamment par l'adoption d'approches *intégrées*. Le premier rapport d'étape mondial sur l'ODD 6.5.1, publié en 2018, a non seulement révélé des lacunes massives, persistantes et croissantes dans la réalisation de l'objectif lié à l'eau, mais il a également mis en évidence la perception qu'ont les pays de leur propre maturité, en réalité plutôt limitée, en matière de gestion des ressources en eau (ONU Environnement, 2018). Dans toutes les régions REC des Nations Unies, la majorité des pays ne disposent pas d'une base solide pour la GIRE (figure 10.1). Aucun pays de la région de la CEA n'a fait état de niveaux de mise en œuvre « élevés » ou « très élevés », et un seul pays de la CEPALC y est parvenu. Moins d'un cinquième des pays de la CESAO et de la CESAP ont atteint ces niveaux, et même dans la CEE, moins de la moitié des pays a déclaré des niveaux de mise en œuvre élevés ou très élevés²⁸.

Figure 10.1 Mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), par la Commission régionale des Nations Unies



Source : Analyse régionale des données sur la mise en œuvre de la GIRE de l'ONU Environnement

Les changements climatiques sont plus évidents dans l'évaluation de base de l'ODD 6.5.2, qui met l'accent sur la gestion des ressources en eau transfrontalières²⁹. La référence montre qu'il est encore possible de renforcer de façon considérable les engagements en faveur de l'adaptation aux changements climatiques et de la réduction des catastrophes liées au climat dans le cadre de la coopération transfrontalière : moins de la moitié (48 %) des réponses ont inclus l'adaptation aux changements climatiques dans les tâches et activités des organes communs responsables de la coopération transfrontalière. Une proportion similaire des réponses (52 %) incluait l'adaptation comme domaine de coopération dans le cadre d'accords opérationnels transfrontaliers. Près de 75 % des réponses incluent la DRR (avec un accent sur les inondations et les sécheresses) dans les tâches et activités des organes conjoints, mais les inondations sont davantage considérées comme un domaine de coopération dans le cadre d'accords transfrontaliers (78 %), contre 58 % pour la sécheresse (CEE-ONU/UNESCO/ONU-Eau, 2018).

²⁸ Les notes de 33 questions couvrant les principales composantes de la GIRE au niveau national et au niveau des bassins, organisées en quatre sections : Environnement favorable, cadres institutionnels, instruments de gestion et financement. Chaque question est notée de 0 à 100 selon la réponse, et on fait la moyenne des notes. Catégories de notes : 91 à 100 « très élevé », 71 à 90 « élevé », 51 à 70 « moyennement élevé », 31 à 50 « moyennement faible », 11 à 30 « faible », 0 à 10 « très faible » (ONU Environnement, 2018a). Données disponibles pour 172 pays ; certains pays sont comptés deux fois lorsqu'ils sont membres de plus d'une région (étant donné que le chapitre concerne les changements climatiques, les États-Unis et le Canada sont considérés comme membres de la CEPALC, leurs voisins les plus proches, et leur adhésion à la CEE est réduite ; les membres associés non géographiques ne sont pas non plus pris en compte, p. ex. les pays européens membres de la CESAP ou de la CEPALC). Nombre total de réponses par région : CEA : 45 ; CEA/CESAO : 6 ; CESAO : 10 ; CEE : 44 ; CEE/CESAP : 7 ; CESAP : 31 ; CEPALC : 29.

²⁹ L'indicateur 6.5.2 est la proportion de la zone du bassin hydrographique transfrontalier (rivière, lac ou aquifère) dans un pays avec un dispositif opérationnel de coopération dans le domaine de l'eau (CEE-ONU/UNESCO/ONU-Eau, 2018).

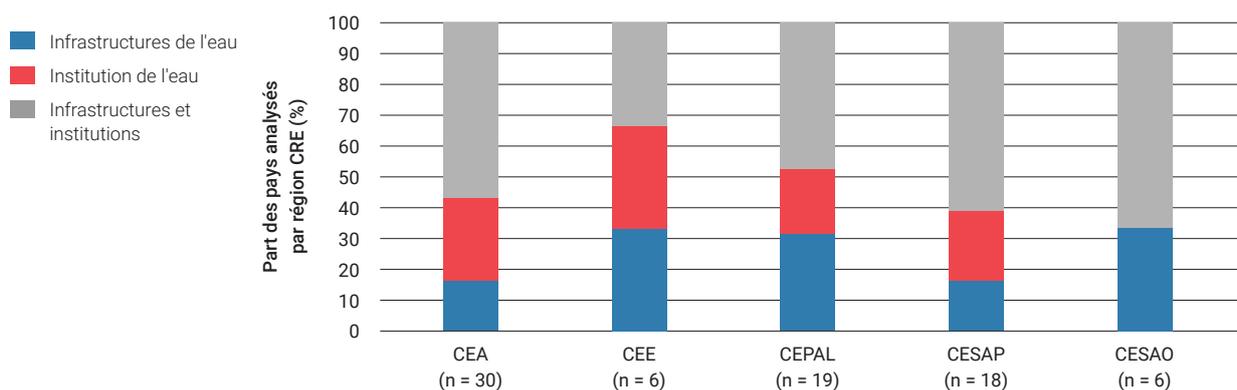
10.2.2 Les ressources en eau dans les contributions déterminées au niveau national

Le chapitre 2 du présent rapport indique que l'eau est le secteur prioritaire le plus souvent cité dans les CDN pour les mesures d'adaptation (CCNUCC, 2016). Un examen plus approfondi révèle toutefois les variations importantes de la façon dont l'eau se caractérise dans les CDN. Une évaluation région par région des CDN de 80 pays (GWP, 2018b) apporte quelques éclaircissements³⁰.

L'eau est moins susceptible de figurer dans les CDN des pays développés, qui ont eu tendance à mettre l'accent sur l'atténuation, peu d'entre eux incluant une composante d'adaptation. Le fait de ne pas intégrer l'eau dans un CDN n'implique pas nécessairement un manque d'intégration à plus large échelle eau-climat. La région CE, par exemple, comprend certes de nombreux pays développés qui mettent peu l'accent sur l'eau dans leurs CDN surtout axés sur l'atténuation, mais elle présente néanmoins certains des exemples les plus solides d'initiatives transfrontalières et régionales sur le climat et l'eau (encadré 10.1). Il est vrai que l'eau ne présente pas les meilleures possibilités de réduction des émissions, par rapport à l'énergie, à l'agriculture, à la foresterie, à l'utilisation des terres ou à l'industrie, par exemple, mais il n'en demeure pas moins surprenant que l'eau soit si rarement un élément central des activités d'atténuation. Il existe des considérations cruciales et des opportunités inexploitées : de l'impact des changements climatiques liés à l'eau sur les efforts d'atténuation dans d'autres secteurs (par exemple, hydroélectricité, foresterie), à la réduction des émissions dans la distribution d'eau et le traitement des eaux usées (New Climate Economy, 2018).

Bonne nouvelle : Les réformes institutionnelles sont souvent considérées comme prioritaires au même titre que les investissements en infrastructures. Dans les pays de la CEA, de la CESAP et de la CESA0, plus de la moitié des CDN qui mentionnent des mesures liées à l'eau décrivent des activités qui concernent à la fois le renforcement des institutions et les infrastructures (figure 10.2)³¹. Les investissements visant à améliorer la capacité institutionnelle de gouvernance de l'eau sont une contrepartie essentielle des investissements dans les infrastructures construites (GCA, 2019). Bien que le type et l'ordre des investissements institutionnels par rapport aux investissements dans les infrastructures varient nécessairement d'un pays à l'autre, à des niveaux de développement différents, un équilibre approprié entre les deux garantit une bonne gestion des concessions réciproques entre les objectifs d'équité, environnementaux et économiques dans un climat de changement (Sadoff et Muller, 2009 ; Shah, 2016). Toutefois, étant donné que les CDN sont en partie utilisés pour définir les besoins de financement de la lutte contre les changements climatiques, ce qui peut inciter les pays à donner la priorité à des infrastructures plus coûteuses au détriment du renforcement des institutions, il est encore possible d'améliorer l'équilibre dans toutes les régions.

Figure 10.2 Priorisation des infrastructures et renforcement institutionnel pour améliorer les ressources en eau identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)

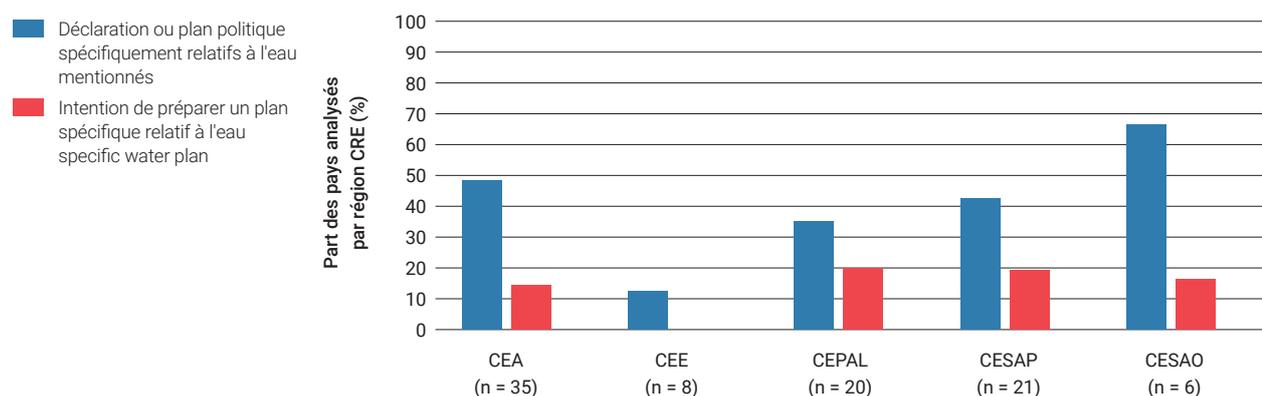


Source : Analyse régionale des données sur les CDN par GWP.

³⁰ Échantillon de pays sélectionné sur la base de l'adhésion au réseau du Partenariat mondial pour l'eau (GWP), en mettant l'accent sur les pays en développement où les CDN comprenaient une composante d'adaptation. Certains pays sont membres de deux REC. Nombre de pays inclus par région CRE : CEA : 31 ; CEA/CESA0 : 4 ; CESA0 : 2 ; CEE : 2 ; CEE/CESAP : 6 ; CESAP : 15 ; CEPALC : 20. Il convient de noter que la taille de l'échantillon pour la CESA0 (6 pays) et la CEE (8 pays) est particulièrement petite et que les conclusions sur l'analyse des CDN pour ces régions se limitent aux données disponibles et aux pays pris en considération.

³¹ Parmi les mesures institutionnelles figurent : la tarification de l'eau ; l'analyse ou la modélisation pour éclairer la planification ; la réglementation, les normes et la mise en application ; et le développement institutionnel. Les mesures relatives aux infrastructures comprennent le stockage naturel et artificiel, la protection des infrastructures et le dessalement. Les pays mentionnent également des mesures difficiles à catégoriser comme infrastructures ou institutions, notamment la gestion générale des ressources en eau ; les mesures de conservation de l'eau (dont la conservation des écosystèmes, par exemple, les zones humides, le recyclage de l'eau, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la récupération de l'eau) ; et les mesures relatives à des sous-secteurs particuliers comme la gestion de l'eau destinée à l'agriculture ou en milieu urbain, les eaux souterraines et la réduction des risques de catastrophe.

Figure 10.3 Référence à la planification de l'eau dans les Contributions déterminées au niveau national (CDN)



Source : Analyse régionale des données sur les CDN par GWP.

Nouvelles ambiguës : Dans plusieurs cas, les responsables stratégiques des pays en matière changements climatiques sont au courant des plans du secteur de l'eau – mais ce n'est pas le cas dans une bonne moitié des pays. De manière explicite, les plans du secteur de l'eau sont explicitement mentionnés dans un peu plus d'un tiers des CDN examinés dans les pays de la CEPALC, près de la moitié de ceux de la CEA et de la CESAP, et 4 des 6 pays analysés dans la CESA0 (figure 10.3). En outre, 14 % à 20 % des pays de chacune de ces régions ont exprimé l'intention de préparer un énoncé ou un plan de politique de l'eau au sein de leurs CDN. Cela témoigne de ce que l'on peut souvent observer de manière empirique : dans de nombreux pays, les décideurs en charge de l'élaboration des CDN ne connaissent pas et sont encore moins conscients du travail effectué dans le secteur de l'eau. Le programme d'action semble pourtant clair : veiller à ce que la planification de l'eau soit prise en compte de façon adéquate dans les stratégies relatives au climat.

Encadré 10.1 Initiatives transfrontalières et régionales sur le climat et l'eau : perspective européenne

Avec 60 % des flux mondiaux d'eau douce qui traversent les frontières nationales, la coopération transfrontalière est essentielle pour des mesures efficaces d'adaptation aux changements climatiques (CEE-ONU/RIOB, 2015). La Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) a clairement souligné ce défi, publiant des orientations sur l'eau et l'adaptation aux changements climatiques en 2009 (CEE-ONU, 2009) et sur la réduction des risques de catastrophe (RRC), l'eau et l'adaptation en 2018 (CEE-ONU/UNDRR, 2018).

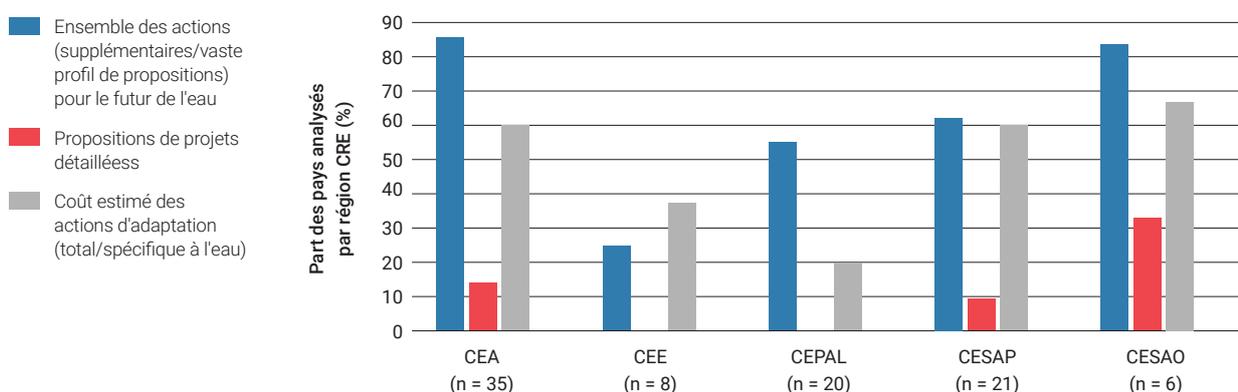
Depuis la publication des Orientations de la CEE-ONU de 2009, un grand nombre de stratégies et de plans d'adaptation ont été élaborés et mis en œuvre dans l'ensemble des bassins hydrographiques de la région de la CEE-ONU (notamment le Chu-Talas, le Danube, le Dniester, le Neman et le Rhin) ainsi qu'au niveau mondial (notamment le lac Tchad, le lac Victoria, le Mékong et le Niger). Ces expériences montrent le potentiel de coopération transfrontalière afin de permettre une meilleure planification de l'adaptation au niveau des pays en mettant en commun les ressources, en élargissant l'espace de planification et en réduisant les incertitudes. Les ingrédients de la réussite sont : une bonne communication, le suivi et le partage des données, la coopération sectorielle, le soutien des capacités et les mécanismes de financement (CEE-ONU/RIOB, 2015). Le partage des bonnes pratiques en matière de DRR et d'adaptation aux changements climatiques de façon plus générale (en particulier d'un point de vue transfrontalier) contribue également à renforcer l'expertise, permettant aux pays et aux bassins hydrographiques transfrontaliers d'apprendre les uns des autres. Si les gouvernements jouent un rôle de premier plan, l'expérience montre que les acteurs de la société civile et du secteur privé s'engagent de plus en plus, soit en faisant du lobbying pour certains intérêts (par exemple, les organisations paysannes néerlandaises sur le Rhin) ou en tant qu'observateurs de commissions fluviales internationales, telles que la Commission internationale pour la protection du Rhin (ODI/ECDPM/GDI, 2012).

Parallèlement, l'Union européenne (UE) a joué un rôle moteur dans l'élaboration et le financement d'actions d'adaptation au niveau régional. Une évaluation de 2018 de la Stratégie d'adaptation de l'UE a identifié l'eau comme l'un des six secteurs clés pour l'intégration de l'adaptation au climat, et a constaté que les Directives-cadres sur l'eau et les Directives « inondations » de l'UE le prévoyaient (CE, 2018). D'autres analyses soulignent toutefois la nécessité d'intégrer davantage la politique sur les ressources en eau et l'adaptation aux changements climatiques dans la mise en œuvre des directives de l'UE relatives à l'eau (Carvalho et al., 2019).

Nouvelles inquiétantes : différences régionales significatives dans l'engagement en faveur de la conservation de l'eau. 60 % des CDN analysés dans la CEA et la CEPALC, et dans tous les CDN analysés des pays de la CESAO font état de mesures de conservation de l'eau. Cependant, seulement 24 % des CDN des pays de la CESAP les mentionnent. Ces mesures de conservation de l'eau concernent celles fondées sur les infrastructures naturelles, telles que les zones humides et la récupération des eaux pluviales, qui peuvent toutes deux contribuer à atténuer la variabilité des précipitations en stockant l'eau, avec des avantages pour la protection contre les inondations et la disponibilité de l'eau (Browder et al., 2019).

Nouvelles les plus alarmantes : Dans toutes les régions, il y a peu de propositions de projets concrets qui se rapportent à l'adaptation climatique liée à l'eau. Plus de 80 % des pays étudiés dans la CEA et la CESAO, contre seulement un peu plus de la moitié des pays de la CEPALC et de la CESAP, prévoient un large éventail de propositions d'actions dans le domaine de l'eau dans leurs CDN (figure 10.4). Dans toutes les régions, cependant, la proportion de pays mentionnant des propositions détaillées de projets relatifs à l'eau dans leurs CDN est beaucoup plus faible : moins de 20 % des pays de la CEA et de la CESAP, 2 des 6 pays analysés dans la CESAO, et aucun des pays de la CEPALC, ni les 8 pays considérés dans la CEE³². Étant donné qu'une réserve solide de projets est une condition préalable à l'accès au financement nécessaire (CME/GWP, 2018), cette mention limitée de tels projets dans la première série de CDN (avant 2020) ne présage rien de bon pour une mise en œuvre rapide de ces engagements. Dans toutes les régions, les pays sont plus enclins à inclure des estimations (généralement élevées) des coûts de leurs actions d'adaptation prévues que de mentionner des propositions détaillées de projets relatifs à l'eau. Il est important de noter que si ces exercices d'établissement des coûts sont essentiels, ils dépendent en grande partie de l'attention accordée aux défis méthodologiques, ce qui est difficile à confirmer en l'absence de détails méthodologiques dans de nombreux CDN (Hedger, 2018a).

Figure 10.4 Portefeuilles, propositions et coûts des projets sur l'eau identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)



Source : Analyse régionale des données sur les CDN par GWP.

10.3 Afrique subsaharienne – Perspective de la CEA

10.3.1 Impacts des changements climatiques liés à l'eau sur les secteurs et les ODD

Les effets des changements climatiques sur les ressources en eau de l'Afrique sont déjà assez sévères. De nombreuses études révèlent par exemple que les précipitations en Afrique australe ont diminué récemment en raison des changements climatiques (GIEC, 2014a ; Bellprat et al., 2015 ; Funk et al., 2018 ; Yuan et al., 2018). Ces impacts interagiront également de plus en plus avec de multiples facteurs non liés au climat de la rareté de l'eau et de la pollution de l'eau, tels que la croissance de la population, le développement économique, les conflits et la fragilité, qui posent de sérieux défis à l'atteinte des objectifs en matière d'eau, mais aussi des autres objectifs de développement définis dans le Programme 2030 de l'ONU et dans l'Agenda 2063 de l'Union africaine. L'impact de l'augmentation de la population sera

³² Les résultats pour la région CE sont probablement un produit de la faible importance accordée aux mesures d'adaptation dans les CDN de cette région et du nombre limité de pays analysés

particulièrement prononcé sur le continent africain, où l'on prévoit que la population augmentera de plus d'un demi-milliard d'ici à 2050, intensifiant le stress hydrique, en particulier dans les régions urbanisées (ODD 11) (Taylor et al., 2009). Les changements climatiques devraient également avoir des effets liés à l'eau sur la santé humaine, par le biais des maladies d'origine vectorielle et hydrique (notamment dues à un accès plus difficile à l'eau potable, à l'assainissement et à l'hygiène) et des effets sur la sécurité alimentaire à travers la malnutrition (ODD 3 et 2) (GIEC, 2014a).

En général, les pratiques économiques et de subsistance existante, comme les écosystèmes naturels, sont vulnérables face aux changements climatiques et mal préparées à une adaptation sans intervention. Dans les systèmes agricoles, en particulier dans les zones semi-arides, les approches conventionnelles axées sur les moyens de subsistance ne semblent pas assez solides pour faire face aux effets à long terme des changements climatiques (ODD 2) (GIEC, 2014a). Les écosystèmes terrestres et marins, ainsi que les zones côtières, sont très vulnérables à l'élévation du niveau de la mer, au ruissellement terrestre et aux tempêtes et ondes de tempête (ODD 14 et 15) (GIEC, 2014a ; CDKN, 2012).

La dimension régionale des défis relatifs aux changements climatiques liés à l'eau est très marquée en Afrique subsaharienne, et elle se traduit par de multiples autres défis, notamment ceux liés à la sécurité et à la paix. Il existe une forte interdépendance régionale par l'hydroélectricité dans les bassins hydrographiques partagés. D'ici à 2030, 70 % et 59 % de la capacité hydroélectrique en Afrique orientale et australe devraient être situés dans un seul groupe de variabilité des précipitations, respectivement, ce qui accroît les risques de perturbation simultanée de la production d'électricité (Conway et al., 2017). Parallèlement, les changements climatiques entraînent des flux migratoires dans la région. Certains des modèles actuels de déplacement peuvent être directement liés à de graves sécheresses (Owain et Maslin, 2018).

10.3.2 Réponses relatives aux politiques : avancées et défis

L'expérience des effets des changements climatiques liés à l'eau en Afrique subsaharienne est amplifiée par les contextes politiques caractérisés par des problèmes de coordination et des lacunes dans le suivi et la recherche (GIEC, 2014a). Cela dit, d'importants progrès ont été réalisés depuis la cinquième évaluation du GIEC (2014a), y compris des efforts pour renforcer les capacités en matière de politiques, de mise en œuvre et de prise de décisions éclairées par des données probantes grâce à la coopération régionale. Le Mécanisme de développement d'infrastructures résilientes aux changements climatiques (Climate Resilient Infrastructure Development Facility, CRIDF), qui vise à apporter des solutions à long terme aux problèmes liés à l'eau qui touchent les communautés pauvres d'Afrique australe, en est un exemple. Ce mécanisme met fortement l'accent sur l'action transfrontalière, en aidant les parties prenantes nationales et régionales à entreprendre des projets dans le secteur de l'eau dans un contexte transfrontalier grâce à un soutien à la préparation des projets, à l'accès facilité au financement, et à l'assistance technique (CRIDF, 2018). L'initiative Recherche sur le climat pour le développement en Afrique en est un autre exemple. Elle vise à combler l'écart persistant entre les données climatiques et la prise de décisions dans la région (Conway et al., 2015) en renforçant les liens entre les chercheurs africains spécialisés dans les sciences du climat et les décideurs politiques (CEA/CAPC, 2019).

Il est possible de donner la priorité à la gestion des ressources en eau dans le contexte du changement climatique dans les principales stratégies, notamment les plans d'adaptation, les plans nationaux de développement économique et les CDN, comme en témoigne un examen approfondi de trois pays, à savoir le Ghana en Afrique de l'Ouest, le Cameroun en Afrique centrale et le Kenya en Afrique de l'Est (tableau 10.1). Dans ces trois pays, la gestion des ressources en eau est une priorité dans les CDN, les plans d'adaptation au climat ou les cadres de planification. Il est important de noter que les changements climatiques liés à l'eau sont également reconnus comme une question intersectorielle dans le CDN du Cameroun et dans le cadre du Plan national d'adaptation (NAP) du Ghana, non seulement comme une préoccupation pour le secteur de l'eau, mais aussi pour l'économie du pays dans son ensemble. Le Ghana et le Kenya établissent également des liens entre les changements climatiques et la gestion des ressources en eau dans leurs plans de développement nationaux, bien qu'ils soient généralement traités comme des secteurs ou des thèmes distincts.

Tableau 10.1 Aperçu des pays d'Afrique subsaharienne : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans la stratégie et la mise en œuvre

Pays	Score de GIRE (PNUE, 2018)	Échelle	Plan national	Contribution déterminée au niveau national (CDN)	Plan d'adaptation	Exemples d'actions régionales ou transfrontières clés pour l'eau et le climat
Cameroun	34 (moyen-faible)	National	Le <i>Document de stratégie pour la croissance et l'emploi</i> (2010-2020) (République du Cameroun, 2009a) mentionne les changements climatiques une fois : en matière d'eau saxe sur les services WASH. La stratégie à long terme, Vision 2035, indique que « la lutte contre les effets de changements climatiques » sera le point central de la phase II (2020-2027), qui mettra en lumière les forêts, la désertification et les plans deau régionaux (République du Cameroun, 2009b).	La CDN a un programme spécialisé sur l'eau axé sur les divers aspects des changements climatiques liés à l'eau (par exemple, WASH, gestion des ressources, inondations, écosystèmes, genre) ; l'eau est également mentionnée dans les programmes sur l'agriculture et l'industrie, ainsi que dans un programme transversal sur les données hydrométéorologiques.	Le Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Cameroun (2015) (République du Cameroun, 2015) présente les projets et programmes d'adaptation mentionnés dans la CDN de manière plus précise.	Le projet intitulé « Integrated Development for Increased Rural Climate Resilience in the Niger Basin » (développement intégré en vue d'une meilleure résilience rurale aux changements climatiques dans le bassin du Niger), financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), mis en œuvre par la Banque africaine de développement et exécuté par l'Autorité du bassin du Niger, vise à renforcer la sécurité de l'eau et la résilience aux changements climatiques dans le Bassin, notamment en dynamisant la coopération entre les États pour harmoniser les utilisations contradictoires de l'eau, tout en tenant compte de la variabilité du climat et des changements climatiques.
		Transfrontière	Vision 2035 comprend la promotion des projets régionaux dans les bassins du Niger et du lac Tchad comme prioritaires lors de la phase II (2020-2027) en vertu de l'axe 3.2 « Renforcer la lutte contre les changements climatiques » (République du Cameroun, 2009b).	Non mentionné.	Les organisations transfrontières (bassin du Niger et du lac Tchad) sont reconnues mais les activités ne semblent pas concerner la gestion transfrontière de l'eau.	
Ghana	49 (moyen-faible)	National	Le domaine 2 (de 5) du programme intitulé « Coordinated Programme of Economic and Social Development Policies (CPESP) » (programme coordonné de politiques économiques et de développement social) 2017-2024 est dédié à l'environnement, aux infrastructures et aux établissements humains. La variabilité du climat et les changements climatiques sont reconnus comme d'importants défis pour les zones humides et la gestion des ressources en eau. Les réponses prioritaires comprennent l'intégration de la planification des ressources en eau dans les plans de développement national et sous-national.	La gestion intégrée des ressources en eau est une action politique précise (de 7 actions), avec son programme d'action correspondant (de 11 programmes) en vertu de l'objectif d'adaptation de la CPDN du Ghana.	Le plan-cadre national d'adaptation (2018) (Agence de protection de l'environnement/Commission nationale de planification du développement/Ministère des finances du Ghana, 2018) indique que l'eau constituera l'un des quatre groupes intersectoriels de planification (ainsi que la santé, les infrastructures et les liens entre les terres, l'énergie et l'agriculture). Une évaluation de la vulnérabilité a également déterminé l'eau comme secteur prioritaire.	Le projet intitulé « Integrating Flood and Drought Management and Early Warning for Climate Change Adaptation in the Volta Basin » (intégrer la gestion des inondations et des sécheresses, ainsi que l'alerte rapide dans le bassin du Volta en vue de l'adaptation aux changements climatiques), mis en œuvre par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et financé par le Fonds pour l'adaptation, vise à aider le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali et le Togo à mettre en œuvre des mesures coordonnées et communes pour améliorer les plans de gestion existants aux niveaux local, national et régional.
		Transfrontière	Non mentionné.	Non mentionné.	Non mentionné.	
Kenya	53 (moyen-faible)	National	Le plan à moyen terme (2018-2022) (République du Kenya, 2018) identifie les changements climatiques et la gestion des risques de catastrophes comme 2 des 3 domaines thématiques ; la gestion des ressources en eau (sous la catégorie environnement, eau, assainissement et développement régional) est prise en compte séparément. Les changements climatiques sont reconnus comme un défi global de haut niveau pour cet objectif.	De nombreux aléas climatiques déterminés comprennent les sécheresses et les inondations. On compte parmi les stratégies d'adaptation prioritaires l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'eau en mettant en œuvre le plan-cadre national sur l'eau (2014) (Ministère de l'environnement de la République du Kenya, 2013).	Les actions comprennent l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans le secteur de l'eau en renforçant le suivi des ressources en eau, en menant des évaluations de l'alerte rapide, en planifiant et en encourageant une utilisation efficace des ressources en eau. Les effets des changements climatiques liés à l'eau sont également pris en compte sous la perspective de la santé et de l'énergie.	Le projet « Adapting to Climate Change in Lake Victoria Basin » (s'adapter aux changements climatiques dans le bassin du lac Victoria), financé par le Fonds pour l'adaptation, exécuté par la Commission du bassin du lac Victoria et mis en œuvre par le PNUE, aide les institutions à intégrer la résilience aux changements climatiques dans la gestion transfrontière de la captation d'eau, entre autres activités.
		Transfrontière	Un projet phare sur les eaux transfrontières (négociations, examen et mise en œuvre des cadres existants) est mentionné. Aucun lien explicite avec les changements climatiques. Les initiatives transfrontières d'adaptation sont mentionnées dans le domaine thématique « Changements climatiques ».	Non mentionné.	L'action pour l'eau comprend une sous-action à moyen terme visant à renforcer la collaboration dans le domaine de la gestion transfrontière des ressources en eau.	

Source : Auteurs.

Les niveaux modestes de mise en œuvre de la GIRE dans les trois pays traduisent néanmoins des défis pour les approches multisectorielles et intégrées en matière de climat, d'eau et de développement. Il est préoccupant de constater que l'eau ne bénéficie pas d'une attention suffisante, si ce n'est une brève mention, en tant que connecteur climatique dans le contexte de la coopération transfrontalière dans les plans nationaux de développement, les CDN ou les PANA, malgré le grand nombre de rivières et de lacs partagés dans les trois pays.

10.3.3 Possibilités d'accélérer l'action eau-climat aux niveaux national et local

La liste des politiques et des actions d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets, qui incluent ou impliquent des aspects liés à l'eau, est longue. Elle comprend le soutien à la résilience aux sécheresses et aux inondations en investissant dans les installations d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'hygiène (WASH) et en améliorant leur résilience au climat (Oates et al., 2014) ; l'extension de la protection sociale et l'introduction de produits financiers comme les assurances (New Climate Economy, 2018) ; le renforcement de l'égalité des sexes dans l'utilisation et la gestion des ressources en eau (Das, 2017) ; l'amélioration de la disponibilité de l'eau pour l'agriculture, notamment par la récupération de l'eau, le paillage et le travail réduit du sol dans les systèmes pluviaux (Keys et Falkenmark, 2018).

Pour trouver des occasions de transformer ces priorités en actions concrètes, il est nécessaire de porter une attention particulière à la dynamique de l'économie politique. Celles-ci ont souvent des dimensions à la fois nationales et régionales, qui déterminent l'espace de collaboration en matière de renforcement des institutions, d'information et d'investissement. Par exemple, l'intégration régionale de l'énergie par le biais des pools énergétiques pourrait réduire certaines des vulnérabilités climatiques de l'hydroélectricité en Afrique australe et orientale, ce qui permettrait le commerce entre les pools et la diversification des sources d'énergie. L'énergie est un atout important d'un point de vue politique pour réaliser les ambitions de nombreux pays africains en termes de transformation économique. À ce titre, elle pourrait servir de catalyseur pour encourager la coopération régionale afin de relever les défis liés à l'eau, à l'énergie et au climat, ce qui pourrait ouvrir la voie à l'investissement dans les centrales électriques régionales et dans les mécanismes institutionnels d'échange d'énergie. Il faudra relever les défis de l'économie politique face à de telles solutions, notamment les politiques nationales en matière de souveraineté énergétique, les intérêts bien ancrés, l'inefficacité des monopoles d'État et les années de sous-investissement dans la plupart des pays (Conway et al., 2017).

Il y aura toujours des exemples témoignant de l'importance de la complémentarité dans la stimulation de la coopération régionale. Des pools d'assurance régionaux tels que celui développé par l'African Risk Capacity (ARC) – une agence spécialisée de l'Union africaine, dont le Kenya, le Ghana et 31 autres États sont membres – permettent aux pays de partager le risque financier de la sécheresse avec leurs voisins. Parallèlement, les expériences des pays de l'échantillon montrent l'importance de combiner et de séquencer les actions aux niveaux régional et national. Le mécanisme d'assurance régionale doit être soutenu par des systèmes nationaux visant à canaliser les paiements vers les personnes qui sont dans le besoin, par exemple des systèmes de protection sociale qui peuvent transférer les paiements aux agriculteurs pauvres ou aux éleveurs, avant qu'ils ne soient obligés de vendre leurs actifs en cas de sécheresse (New Climate Economy, 2018). Pour que ces systèmes soient viables à long terme, les membres du mécanisme d'assurance doivent être suffisamment dispersés sur le plan géographique et climatique, de sorte que les sécheresses ne risquent pas de se produire dans tous les pays à la fois.

Au niveau sous-régional, il est également possible d'améliorer la coopération entre les bassins fluviaux. Le Cameroun, le Ghana et le Kenya, ainsi que d'autres pays africains, participent à des projets internationaux dans des bassins hydrographiques transfrontaliers, notamment dans les bassins du Niger, de la Volta et du lac Victoria (tableau 10.1), malgré le peu d'attention explicite accordée à l'action combinée eau-climat à caractère transfrontalier dans leurs stratégies nationales de développement climatique et économique. Cette implication souligne le rôle important des organismes au niveau des bassins hydrographiques et des régions en tant que facilitateurs et responsables de la mise en œuvre des mesures d'adaptation liées à l'eau. Elle indique également que la coopération transfrontalière sur les changements climatiques pourrait devenir un catalyseur de renforcement de la dimension eau de la planification économique et climatique nationale (Banque mondiale, 2017c).

10.4 Europe, Caucase et Asie centrale – Perspective de la CEE

10.4.1 Impacts des changements climatiques liés à l'eau sur les secteurs et les ODD

Les projections climatiques indiquent une augmentation des précipitations en Europe du Nord et une diminution des précipitations en Europe du Sud. On prévoit une augmentation marquée des températures extrêmes, des sécheresses météorologiques et des épisodes de fortes précipitations, mais avec des variations à travers l'Europe. L'incertitude est plus élevée en Asie centrale, avec une variation spatiale des tendances historiques et une incohérence dans les changements prévus pour les précipitations et la sécheresse. Le GIEC souligne les défis croissants en matière d'irrigation, d'hydroélectricité, d'écosystèmes et d'établissements humains dans la région Europe (ODD 2, 7, 11 et 15) (GIEC, 2014a). L'un des enjeux clés pour la région est la possibilité que les inondations et les sécheresses amplifient les problèmes de santé, comme les maladies liées à l'eau (ODD 3) (CEE/Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, 2011).

Comme dans d'autres régions, les effets des changements climatiques sur l'eau se répercutent également sur les facteurs de stress et les facteurs sociaux, économiques et politiques d'importance régionale. Le plus important pour la CEE est le niveau élevé et croissant de développement dans de nombreux bassins hydrographiques. Pour l'irrigation, par exemple, cela signifie que la demande augmentera, mais que le potentiel sera limité non seulement par la réduction du ruissellement, mais aussi par l'augmentation de la demande provenant d'autres secteurs (GIEC, 2014a). D'autres facteurs d'importance régionale ont le potentiel de faciliter l'intégration du climat et de l'eau – par exemple, l'incitation politique relativement forte fournie par l'adhésion à l'UE et l'encouragement qui en résulte à se conformer aux Directives-cadres pour l'eau et aux Directives « inondations » (encadré 10.1).

10.4.2 Réponses relatives aux politiques : avancées et défis

La région comprend principalement des puissances économiques, avec des niveaux généralement élevés de mise en œuvre de la GIRE (figure 10.1). Toutefois, ce n'est pas le cas partout. Un examen plus approfondi de trois pays à revenu intermédiaire – le Kazakhstan, l'Ukraine et la République de Macédoine du Nord (tableau 10.2) – montre, tout d'abord, que les résultats de l'auto-évaluation des progrès de ces pays dans la mise en œuvre de la GIRE étaient « faibles » ou « moyennement faibles », indiquant ainsi la nécessité d'améliorer les politiques, les institutions, les instruments de gestion et les ressources en eau comme base de la gestion des réponses aux changements climatiques et des effets à travers l'eau. Deuxièmement, les stratégies climatiques et économiques du Kazakhstan et de l'Ukraine ne concernent pas de façon spécifique des liens entre les changements climatiques et l'eau. Certes l'amélioration de la gestion de l'eau est reconnue comme une priorité dans les plans de développement nationaux de tous les trois pays, mais seule la République de Macédoine du Nord établit un lien explicite avec les changements climatiques.

La CDN de la République de Macédoine du Nord est également la seule à mentionner les questions d'eau, à savoir l'hydroélectricité. Ce manque d'importance vis-à-vis de l'eau dans les CDN s'explique en partie par le fait que dans les trois pays, les CDN se concentrent sur l'atténuation – le Kazakhstan et l'Ukraine, en particulier, ont des émissions de gaz à effet de serre (GES) élevées. Les communications nationales sont généralement plus détaillées, et au Kazakhstan et en République de Macédoine du Nord, elles traitent plus largement des questions relatives à l'eau. Bien qu'aucun plan d'adaptation national distinct n'ait été établi dans l'un ou l'autre pays, un concept d'adaptation qui comprend plusieurs mesures liées à l'eau a été élaboré pour l'Ukraine.

En outre, le Kazakhstan et l'Ukraine ont tenté de traiter le climat et l'eau comme des questions intégrées au niveau régional, au sein de bassins hydrographiques transfrontaliers. Le fleuve Dniester est l'un des plus grands bassins d'Ukraine et le plus grand de la République de Moldavie, fournissant de l'eau à une population importante et soutenant un large éventail d'industries, notamment la production alimentaire, forestière et hydroélectrique. En 2015, de hauts représentants des gouvernements de la République de Moldavie et de l'Ukraine ont conjointement signé un Cadre stratégique pour l'adaptation aux changements climatiques, qui a été élaboré par des représentants experts en consultation avec l'environnement, l'eau et les autorités sectorielles des deux pays, avec le soutien de la CEE-ONU et de l'Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe (OSCE). Le Cadre stratégique identifie les domaines d'actions conjointes au niveau du bassin qui nécessitent une coopération transfrontalière. Les mesures ont été développées et évaluées au niveau financier dans le plan de mise en œuvre du Cadre stratégique, et certaines ont déjà été mises en œuvre. Ces activités ont non seulement augmenté la capacité d'adaptation dans le bassin, mais ont également favorisé la coopération transfrontalière dans le domaine de l'eau de manière plus générale, en facilitant l'entrée en vigueur du Traité transfrontalier du Dniestr en 2017 et la création de la Commission du Dniestr en 2018.

Tableau 10.2. Aperçu des pays d'Europe, du Caucase et d'Asie centrale : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans la stratégie et la mise en œuvre

Pays	Score de GIRE (PNUF, 2018)	Échelle	Plan national	CDN	Plan d'adaptation	Exemples d'actions régionales ou transfrontières clés pour l'eau et le climat
Kazakhstan	30 (faible)	National	Les défis et les réponses politiques en matière d'eau sont compris dans la Stratégie 2050, mais pas dans le contexte des changements climatiques (République du Kazakhstan, 2012).	La CPDN se focalise sur l'atténuation. Aucune mention des ressources en eau. La dernière communication nationale (VII, 2017) examine de manière détaillée les impacts liés à l'eau et les options d'adaptation (Ministère de l'énergie de la République du Kazakhstan/PNUD au Kazakhstan/FEM, 2017).	Un plan national d'adaptation est en cours d'élaboration. Comme noté, les actions d'adaptation liées à l'eau ont été déterminées dans la communication nationale.	La Commission de l'eau de Chu-Talas et son groupe de travail spécialisé chargé de l'adaptation aux changements climatiques et des programmes à long terme, avec l'appui de la CEE, du PNUD et de l'OSCE, intègrent l'adaptation aux changements climatiques dans les processus de planification du bassin hydrographique partagé par le Kazakhstan et le Kirghizistan (voir encadré 10.2).
République de Macédoine du Nord	22 (faible)	National	La vulnérabilité accrue aux catastrophes découlant des changements climatiques a été reconnue. La majorité des réponses prioritaires sont liées à l'eau, y compris un système intégré de gestion de l'eau par l'intermédiaire d'une agence de l'eau spécialisée, d'une planification de la protection contre les inondations et de systèmes d'alerte rapide.	La CDN se focalise sur l'atténuation. Les petites et grandes centrales hydroélectriques sont mentionnées dans le cadre des mesures d'atténuation. La communication nationale III (2014) prend en compte les effets des changements climatiques sur l'eau, la capacité d'adaptation et les mesures d'adaptation en détail dans le secteur de l'eau. La gestion des ressources en eau intégrée, intersectorielle et axée sur les bassins hydrographiques est une priorité fondamentale (Ministère de l'environnement et de la planification physique de la République de Macédoine, 2014).	Un plan national d'adaptation est en cours d'élaboration. Comme noté, les actions d'adaptation liées à l'eau ont été déterminées dans la communication nationale.	La République de Macédoine du Nord coopère avec ses voisins pour garantir la gestion durable du bassin du Drin avec l'appui du Partenariat mondial pour l'eau (GWP), de la CEE et du PNUD. Les riverains considèrent les changements climatiques comme une question transversale et tentent de les prendre en compte lorsqu'ils abordent des questions telles que la détérioration de la qualité de l'eau, la variabilité du régime hydrologique, de la dégradation de la biodiversité et du transport des sédiments.
Ukraine	39 (moyen-faible)	National	Les rivières transfrontières sont mentionnées (par exemple, le Vardar) mais les aspects de la gestion transfrontière de l'eau ne le sont pas.	Non mentionné dans la CPDN. Le potentiel de coopération transfrontière en matière d'adaptation dans le bassin de Strumica est noté.	Pas de plan d'adaptation présenté à ce jour.	L'entrée en vigueur du Traité sur le Dniestr en 2017 et l'établissement de la Commission sur le Dniestr en 2018 ont été facilités en partie par l'élaboration du Cadre stratégique d'adaptation aux changements climatiques par la Moldavie et l'Ukraine, avec l'appui de la CEE et de l'OSCE. La Commission prévoit l'adaptation aux changements climatiques comme faisant partie du plan de gestion transfrontière pour le bassin hydrographiques, en réduisant les risques de catastrophes naturelles telles que les inondations et les sécheresses par l'intermédiaire de la mise en œuvre de mesures d'adaptation.
		Transfrontière	La gestion durable de l'eau, la prévention des changements climatiques et la résilience à ceux-ci sont des actions prioritaires distinctes dans le plan d'action prioritaire du gouvernement pour 2020. Les interactions entre le climat et l'eau ne semblent pas être explicitement prises en compte, bien que les actions prioritaires en matière de changements climatiques et d'adaptation prennent en compte les évaluations de la vulnérabilité pour différents secteurs (Cabinet des ministres d'Ukraine, 2017).	L'eau n'est pas mentionnée dans la CDN. La dernière communication nationale (VI, 2013) se focalise sur l'atténuation. L'eau y est mentionnée mais pas les ressources en eau (Ministère ukrainien de l'écologie et des ressources naturelles, 2013).	Le Principe de mise en œuvre de la politique gouvernementale sur les changements climatiques d'ici 2030 (2016) et son plan d'action (2017) prévoient l'élaboration de politiques et de plans sectoriels d'adaptation qui englobent la gestion intégrée des ressources en eau, la réduction des risques de catastrophe et les secteurs liés à l'eau, et y compris des mesures d'adaptation dans les plans de gestion des bassins hydrographiques (Cabinet des ministres de l'Ukraine, 2016).	
		Transfrontière	Les questions relatives à l'eau douce transfrontière sont prises en compte par le biais de l'adoption de l'approche de gestion intégrée des ressources en eau pour le bassin hydrographiques.	Les questions transfrontières de l'eau ne sont mentionnées ni dans la CDN ni dans la dernière communication nationale.	Non mentionné explicitement.	

Source : Auteurs

Dans le cas du Kazakhstan, la planification de l'adaptation aux changements climatiques dans le bassin de Chu-Talas, partagé avec le Kirghizistan, a été rendue possible grâce à une facilitation et un séquençage minutieux des activités, à l'élaboration de politiques appuyées par des mesures d'adaptation concrètes sur le terrain et à l'engagement des acteurs locaux comme moyen d'influencer les décideurs nationaux (encadré 10.2).

Ces exemples ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble de la région de la CEE. Les rapports nationaux sur la coopération transfrontalière dans le cadre de la Convention sur l'eau (CEE-ONU, 2018b) montrent que dans moins d'un tiers des réponses, l'adaptation aux changements climatiques a été incluse comme domaine de coopération dans le cadre des activités des organismes conjoints et des accords opérationnels transfrontaliers. Dans le même temps, la gestion des risques d'inondation et de sécheresse (jusqu'à 85 % des réponses) a souvent été intégrée comme zone de coopération dans le cadre d'organismes conjoints et d'accords opérationnels transfrontaliers. Bien que les phénomènes climatiques extrêmes récents aient donc fait l'objet d'une coopération transfrontalière, il est possible de mettre davantage l'accent sur l'adaptation dans de nombreux bassins hydrographiques.

10.4.3 Possibilités d'accélérer l'action eau-climat aux niveaux national et régional

Parmi les actions clés pour une adaptation plus efficace et une plus grande résilience aux extrêmes dans la région, tant au sein des pays pris de façon individuelle que dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, on compte : la gestion intégrée des ressources en eau, notamment au-delà des frontières nationales ; l'amélioration de l'efficacité de l'eau et des stratégies d'économie d'eau (GIEC, 2014a) ; le suivi et le partage des données sur la quantité et la qualité de l'eau, ainsi que sur les catastrophes, comme base des stratégies, plans et mesures d'adaptation aux changements climatiques ; une meilleure cohérence de l'adaptation aux changements climatiques et de la DRR liée à l'eau (CEE/ONU, 2018) ; la mise en pratique des stratégies et accords grâce à des actions traditionnelles et innovantes, y compris des solutions fondées sur la nature (SfN) (CEE/RIOB, 2015) ; et l'attraction et la combinaison de financements provenant de sources multiples (c'est-à-dire internationales, nationales et privées), notamment en vue de l'adaptation aux changements climatiques dans les bassins hydrographiques transfrontaliers (Banque mondiale, 2019).

Aussi valables soient-elles, ces prescriptions demeurent une liste de souhaits pour de nombreux pays de la région. Les coûts d'adaptation dans le secteur de l'eau de la région de la CEE peuvent être élevés. L'évaluation des coûts d'adaptation, effectuée dans le cadre des stratégies et des plans d'adaptation pour certains bassins (bassins du Chu-Talas, du Dniestr et du Neman), a révélé que les coûts approximatifs d'adaptation dans les secteurs liés à l'eau s'élevaient à environ 200 millions d'euros chacun (ENVSEC/CEE/OSCE, 2017 ; CEE, 2017 ; PNUE/CEE, 2015). Toutefois, le déficit de financement peut également être plus faible, étant donné que la région est relativement riche et que les coûts sont (ou seront) déjà partiellement couverts par les programmes et projets sectoriels pertinents.

Cette situation met en évidence une fenêtre d'opportunité créée par la diversité des économies de la région. Lorsqu'il s'agit d'améliorer l'intégration eau-climat dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, l'assistance technique et financière peut être partagée en amont ou en aval, des pays riverains les plus riches aux plus pauvres. À titre d'exemple, le bassin du Danube est partagé par certains des pays les plus riches ainsi que par certains des pays les plus pauvres d'Europe. Ici, la Commission internationale pour la protection du Danube (ICPDR) est l'une des principales commissions de bassins fluviaux transfrontaliers en matière de lutte contre les changements climatiques. La première stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour le bassin du Danube a été élaborée en 2012. Sur cette base, la Commission internationale pour la protection du Danube a pleinement intégré les questions d'adaptation aux changements climatiques dans le bassin du Danube et les plans de gestion des risques d'inondation en 2015. La stratégie a été mise à jour en 2018, avec notamment un examen de la base de connaissances, des consultations auprès des intervenants et des efforts nécessaires, afin de refléter les dernières données scientifiques ainsi que l'évolution des instruments législatifs et politiques au niveau de l'UE et des pays. Dans le cadre de la promotion de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques dans les processus de planification du bassin du Danube, la Commission a fait de l'adaptation aux changements climatiques un point obligatoire à intégrer dans les plans actualisés de gestion du bassin du Danube et des risques d'inondation. Cette stratégie encourage également la coopération multilatérale et transfrontalière dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques (ICPDR, 2019), en servant de référence commune aux décideurs politiques nationaux des pays à différents stades de développement.

Encadré 10.2 Enseignements tirés de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques au processus de planification dans le bassin de Chu-Talas au Kazakhstan et au Kirghizistan

Les rivières Chu et Talas sont les principales sources d'eau pour l'agriculture et elles soutiennent les moyens de subsistance de plus de 3 millions de personnes au Kazakhstan et au Kirghizistan. Le bassin de Chu-Talas est très sensible aux changements climatiques, avec une probabilité d'augmentation de l'aridité et de diminution globale de la disponibilité en eau (CEE/PNUD, 2018).

Les premières activités d'adaptation aux changements climatiques ont débuté dans le bassin en 2010, avec la modélisation des effets des changements climatiques et une évaluation de la vulnérabilité, qui a ensuite été élaborée en un ensemble de mesures d'adaptation aux changements climatiques, couvrant des questions allant de la qualité de l'eau au suivi et à l'éducation. Elles ont été évaluées en fonction de leur coût/efficacité et intégrées à une analyse diagnostique transfrontalière (ADT) et à un programme d'action stratégique (PAS). Une fois approuvé, le PAS deviendra le principal document de gestion transfrontalière dans le bassin hydrographiques, ce qui facilitera la coopération, la planification, le financement et la mise en œuvre. Enseignements tirés du processus :

- Les organismes mixtes jouent un rôle crucial dans l'adaptation aux changements climatiques dans les bassins hydrographiques transfrontaliers. Une commission mixte bilatérale de l'eau de Chu-Talas a permis de discuter des problèmes et de trouver des solutions.
- Les stratégies d'adaptation transfrontalière peuvent soutenir l'adaptation nationale, les stratégies sectorielles et les contributions déterminées au niveau national (CDN), et vice versa. Par exemple, des plans sectoriels d'adaptation aux changements climatiques pour la réduction des risques de catastrophe, la foresterie, la biodiversité, l'agriculture et les ressources en eau au Kirghizistan ont été élaborés en coordination avec (et complétés par) les activités d'adaptation transfrontalière dans le bassin de Chu-Talas.
- Les documents stratégiques peuvent être appuyés par la démonstration de la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Le reboisement, la sensibilisation du public et l'irrigation durable sur le terrain au Kirghizistan ont complété l'intégration des changements climatiques dans l'ADT et le PAS.
- La participation des intervenants locaux aux discussions sur les mesures d'adaptation facilite la communication avec les décideurs aux niveaux national et transfrontalier, étant donné que la mise en œuvre des mesures d'adaptation se fait souvent au niveau local.

Source : CEE-ONU (s.d.).

Cela dit, même lorsque des fonds sont disponibles, la gestion des eaux transfrontalières peut être difficile sur le plan politique. Il est donc nécessaire de trouver un point d'entrée politiquement important autour duquel construire la coopération. Dans certains cas, les changements climatiques peuvent eux-mêmes être le facteur qui ouvre la voie à une coopération en matière de gestion transfrontalière, comme ce fut le cas pour le Dniestr.

10.5 Amérique latine et Caraïbes – Perspective de la CEPALC

10.5.1 Impacts des changements climatiques liés à l'eau sur les secteurs et les ODD

Les changements dans la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes touchent déjà gravement l'Amérique latine et les Caraïbes. En Amérique du Sud et en Amérique centrale, on observe des changements de débit et de disponibilité de l'eau qui devraient se poursuivre et affecter des régions déjà vulnérables. En Amérique du Sud, le retrait de la cryosphère andine modifiera la répartition saisonnière des flux. Le GIEC prévoit avec assurance que les pénuries d'eau s'intensifieront dans les régions semi-arides déjà vulnérables, avec une réduction des précipitations et une augmentation de l'évapotranspiration, ce qui affectera les villes, la production d'hydroélectricité et l'agriculture (ODD 11, 7 et 2) (GIEC, 2014a). On prévoit également une augmentation de la sécheresse en Amérique centrale et au Mexique, même si cela reste moins sûr pour ce qui est du sud de la sous-région. Dans la sous-région des Caraïbes, le risque de sécheresse devrait augmenter, surtout si les températures, elles, augmentent plus de 1,5 °C. Les îles des Caraïbes sont également menacées par l'élévation du niveau de la mer, qui pourrait entraîner la salinisation, les inondations et la pression sur les écosystèmes (ODD 14) (GIEC, 2018b).

L'urbanisation rapide, le développement économique et les inégalités constituent trois des principaux facteurs socioéconomiques de pression sur les systèmes d'approvisionnement en eau en Amérique latine et dans les Caraïbes et qui sont liés aux effets climatiques liés à l'eau. La pauvreté est persistante dans la plupart des pays de la région, ce qui contribue à la vulnérabilité aux changements climatiques. L'inégalité économique se traduit également par des inégalités dans l'accès à l'eau et à l'assainissement, et vice versa. L'augmentation des risques de maladies d'origine hydrique en raison des changements climatiques (GIEC, 2014a) affecte beaucoup plus les populations pauvres (ODD 1, ODD 3). Face aux priorités de développement économique, l'eau est nécessaire pour répondre aux besoins sectoriels (domestique, agricole, énergétique) et écosystémiques, ce qui pose des défis persistants dans le cadre de la gestion durable des ressources en eau. Les pays d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale couvrent 60 % de leur demande énergétique grâce à l'hydroélectricité, alors que dans le même temps, le changement d'affectation des terres pour la production alimentaire et la bioénergie exerce une pression sur les ressources en eau (ODD 15) (GIEC, 2014a). Plus de 80 % de la population de la région vit dans les zones urbaines (UNDESA, 2019), et les sécheresses ont été liées à la réduction de l'emploi et des revenus du travail dans les villes d'Amérique latine (ODD 11, ODD 8) (Desbureaux et Rodella, 2019). Les zones rurales sont hautement vulnérables aux effets des changements climatiques liés à l'eau, en raison des facteurs climatiques qui limitent les options économiques et poussent à l'émigration. En 2014 par exemple, une augmentation significative du nombre de Guatémaltèques cherchant à entrer aux États-Unis d'Amérique a coïncidé avec l'apparition de conditions de sécheresse liées à El Niño dans le « corridor sec » d'Amérique centrale (Steffens, 2018). On prévoit une intensification du risque de sécheresse dans cette région due aux changements climatiques, obligeant un plus grand nombre de familles rurales pauvres à migrer hors de la région (ODD 10) (CEPALC, 2018).

10.5.2 Réponses relatives aux politiques : avancées et défis

Une évaluation plus approfondie de trois pays de la région – le Chili dans le sud de l'Amérique du Sud, le Guatemala en Amérique centrale et la Grenade dans les Caraïbes (tableau 10.3) – illustre certains des progrès et des défis qui restent à relever par les pays de la CEPALC dans la lutte contre les changements climatiques à travers l'eau. Les stratégies climatiques des pays, comme en témoignent les plans d'adaptation et les CDN, révèlent certaines intentions positives. Les CDN du Chili et du Guatemala, par exemple, reconnaissent les impacts liés à l'eau et les mesures de réponse dans de multiples secteurs. Le Programme d'action 3 (sur 12) du PNA de la Grenade vise à établir une « structure de gouvernance de l'eau adaptée au climat », reconnaissant la nécessité d'un développement institutionnel au niveau de la planification, des politiques et des systèmes d'information, ainsi que des infrastructures.

Les plans de développement nationaux des pays sélectionnés ont tendance à reconnaître les effets des changements climatiques sur l'eau et, dans certains cas, l'importance de la gestion de l'eau pour le développement économique. Toutefois, ils ne traitent pas explicitement la gestion de l'eau et les changements climatiques comme des secteurs interdépendants qui nécessitent des réponses intégrées. En outre, malgré l'adoption d'une approche intersectorielle des questions relatives à l'eau dans les stratégies climatiques des pays, leurs progrès dans la mise en œuvre de la GIRE laissent supposer qu'il y aura des défis à relever quant à l'intégration de l'eau et de l'action climatique dans la pratique. Les trois pays auto-évaluent la mise en œuvre de la GIRE comme étant « faibles » dans l'évaluation de référence de l'ODD 6.5.1, à l'instar de près de la moitié des pays de la région (figure 10.1).

Compte tenu des aspects transfrontaliers, aucune des trois stratégies examinées pour le Chili et le Guatemala ne traite de l'eau en tant que connecteur climatique international traversant des bassins hydrographiques transfrontaliers (la Grenade n'a pas de bassins hydrographiques transfrontaliers).

10.5.3 Possibilités d'accélérer l'action eau-climat aux niveaux national et régional

Pour de nombreux pays de la région, les changements climatiques se produisent dans un contexte de forte concurrence intersectorielle pour l'eau, notamment entre les zones urbaines, les secteurs de l'énergie et de l'agriculture, et les besoins des écosystèmes. Ces pays doivent donc éviter le risque de réactions inadaptées. La modélisation des engagements pris dans les CDN en Argentine, au Brésil, en Colombie et au Mexique a permis de déterminer que les engagements d'atténuation pourraient accentuer les différends concernant l'utilisation de l'énergie, des ressources en eau et des terres, principalement en raison de la demande accrue d'eau par les secteurs de la production d'électricité et de l'irrigation des cultures et de la biomasse (Da Silva et al., 2018). Les signes naissants d'intégration des politiques dans

Tableau 10.3 Aperçu des pays d'Amérique latine et des Caraïbes : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans la stratégie et la mise en œuvre

Pays	Score de GIRE (PNUF, 2018)	Échelle	Plan national	Contribution déterminée au niveau national (CDN)	Plan d'adaptation	Exemples d'actions régionales ou transfrontières clés pour l'eau et le climat
Chili	23 (faible)	National	Le Programme à l'horizon 2030 du Chili présente une réforme et un programme d'action englobant des lois, des plans, des programmes et d'autres initiatives visant à atteindre l'ODD 6. Les effets existants des changements climatiques, notamment en ce qui concerne la pénurie d'eau, sont reconnus (Chile Agenda 2030, n.d.).	Les actions pour l'adaptation de la CDN se focalisent sur la mise en œuvre du plan national d'adaptation et de sept plans sectoriels (notamment sur les ressources en eau ; l'un des plans, qui concerne les forêts et l'agriculture, s'axe aussi sur la gestion de l'eau).	Le plan national d'adaptation reconnaît les impacts liés à l'eau, surtout sur les exploitants agricoles de zones arides qui utilisent et gèrent des ressources en eau, ainsi que le rôle des écosystèmes de haute altitude pour garantir l'approvisionnement en eau. La dépendance intersectorielle aux ressources en eau est reconnue et d'autres secteurs tels que les infrastructures, le développement rural et l'énergie, sont considérés comme des points d'entrée stratégiques pour améliorer la gestion internationale des ressources en eau (Ministère chilien de l'environnement, 2014).	Aucun projet actuel sur la gestion transfrontière de l'eau axée sur les changements climatiques n'a été identifié. Le Fonds pour l'adaptation a approuvé le concept d'un projet régional de réduction des risques de catastrophe intitulé « Enhancing Adaptive Capacity of Andean Communities through Climate Services (ENANDES) » (Améliorer les capacités d'adaptation des communautés andines par le biais des services climatologiques), et a appuyé les communautés andines du Chili, de Colombie et du Pérou. Le document comprend une composante sur le suivi régional et national du climat, la prévision et la prise de décision.
Grenade	25 (faible)	Transfrontière	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Aucun bassin hydrographique transfrontière. Le projet « Climate-Resilient Water Sector in Grenada (G-CREWS) », financé par le Fonds vert pour le climat et exécuté par l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ), la Banque de développement de Grenade et le Ministère des finances, de l'énergie, du développement économique, de la planification et du commerce de Grenade, comporte une composante supplémentaire financée par le Gouvernement allemand et portant sur l'apprentissage et la transposition régionaux.
Guatemala	25 (faible)	National	La stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté 2014-2018 reconnaît la vulnérabilité aux changements climatiques et à d'autres facteurs et, dans ce contexte, la nécessité d'englober au programme de gestion environnementale du pays la gestion intégrée des eaux côtières, ainsi que la protection des écosystèmes d'eau douce, entre autres (Gouvernement de Grenade, 2014).	Les actions d'adaptation comprennent l'amélioration de la gestion des ressources en eau, qui est reconnue comme un élément crucial du développement à long terme de Grenade. L'eau est également déterminée comme le secteur intersectoriel dominant dans l'évaluation des besoins technologiques de Grenade.	Le Plan national d'adaptation mentionne une évaluation de la vulnérabilité du secteur de l'eau. Il comprend également des actions visant à établir une structure de gouvernance de l'eau sensible aux changements climatiques, avec des cibles visant à améliorer les mécanismes institutionnels de planification, de gestion et d'utilisation efficace des ressources en eau. L'eau est également mentionnée dans le cadre d'action concernant l'agriculture et les écosystèmes (Gouvernement de Grenade, 2017).	No current transboundary water management projects with a strong climate change dimension have been identified. Guatemala is part of the regional project 'Productive Investment Initiative for Adaptation to Climate Change (CAMBio II)', funded by the GCF and co-financed and executed by the Central American Bank for Economic Integration (CABEI). This project aims to increase the resilience of micro-, small- and medium-sized enterprises in Central American countries by removing barriers to access to financial and non-financial services (including water access).
		Transfrontière	Pas de bassins hydrographiques transfrontières.	Pas de bassins hydrographiques transfrontières.	Pas de bassins hydrographiques transfrontières	
		National	Le « Plan Nacional de Desarrollo K'atun: Nuestra Guatemala 2032 » (Plan national de développement K'atun: Notre Guatemala 2032) englobe des objectifs distincts pour les changements climatiques (adaptation et atténuation) et pour la gestion des ressources en eau. La gestion intégrée des ressources en eau GIRE est abordée en relation avec les forêts, l'énergie et l'eau, et est reconnue comme centrale pour le développement national durable (Conseil national de développement urbain et rural, 2014).	Les effets des changements climatiques liés à l'eau sont reconnus, et la gestion intégrée des ressources en eau GIRE est présentée comme l'une des actions prioritaires visant à renforcer l'adaptation aux changements climatiques. Dans le cadre de l'atténuation, la gestion intégrée des ressources en eau est aussi reconnue dans les domaines de l'agriculture et des déchets.	Pas de plan national d'adaptation. Le Plan d'action national sur les changements climatiques (2016) comprend un chapitre sur l'adaptation. La gestion intégrée des ressources en eau GIRE est identifiée comme un pilier fondamental. On compte parmi les objectifs pertinents des actions pour le renforcement de l'accès à l'eau potable, le traitement des eaux usées, le contrôle de la qualité et de la quantité dans les bassins, l'établissement d'instruments opérationnels dans une nouvelle loi sur l'eau (Conseil national sur les changements climatiques, 2016).	
		Transfrontière	L'importance d'aborder les espaces transfrontières a été notée, notamment les bassins hydrographiques versants stratégiques, en vue de veiller à ce que la population dispose de moyens de subsistance durables.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	

Source : Auteurs.

l'eau, le climat et les autres ODD dans les pays du tableau 10.3 constituent une première étape vers la gestion des concessions réciproques. Cependant, la lenteur des progrès dans la mise en œuvre de la GIRE suggère la nécessité de redoubler d'efforts. À cet égard, la CEPALC et l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ) ont réussi à se servir ont connu un certain succès en utilisant les cadres de la relation eau-énergie-alimentation comme point d'entrée pour le dialogue politique dans la région, par exemple en aidant les décideurs politiques du Costa Rica à résoudre les conflits de longue date entre les différentes utilisations telles que l'hydroélectricité et l'irrigation dans le bassin du fleuve Reventazón (Jouravlev, 2018). Les pays de la région devront également trouver des fonds supplémentaires afin d'atteindre leurs objectifs en matière d'eau, tout en veillant à ce que leurs autres objectifs de développement disposent de ressources en eau suffisantes et en adaptant leurs systèmes et infrastructures liés à l'eau aux changements climatiques. Les évaluations des politiques relatives aux changements climatiques (CCPA), soutenues conjointement par le Fonds monétaire international (FMI) et la Banque mondiale, peuvent aider les pays à gérer leur réponse aux changements climatiques dans une perspective macroéconomique et fiscale. Une évaluation récemment achevée pour la Grenade suggère que le gouvernement doit améliorer sa position fiscale et réduire les niveaux de dette et les besoins de financement, en procédant à de nouvelles réformes de sa loi sur la responsabilité fiscale. Cela permettrait d'accorder plus de place aux investissements liés au climat, par exemple dans des infrastructures résilientes. Les cadres politiques et juridiques de la Grenade peuvent également être améliorés pour attirer des investissements privés dans des secteurs appropriés pour l'adaptation et l'atténuation des changements climatiques (FMI, 2019), notamment l'eau.

Au niveau régional, la mention expressément limitée des questions transfrontalières eau-climat dans les stratégies en matière de climat et de développement du Chili et du Guatemala est révélatrice de plus grands défis liés à la coopération sur les eaux transfrontalières en Amérique latine et dans les Caraïbes, du moins selon la définition de l'indicateur 5.2 de l'ODD 6. L'évaluation de référence de l'indicateur 5.2 de l'ODD 6 a estimé que seul un quart des bassins hydrographiques transfrontaliers (rivière, lac ou aquifère) était couvert par des accords opérationnels de coopération dans le domaine de l'eau³³. Un seul pays, l'Équateur, a établi des accords opérationnels pour l'ensemble de ses bassins hydrographiques transfrontaliers (CEE/UNESCO/ONU-Eau, 2018).

La même évaluation de base met en évidence les possibilités de coupler les efforts visant à renforcer la coopération transfrontalière avec d'autres questions, notamment les changements climatiques, en contribuant à favoriser le dialogue et à garantir le maintien des synergies. Les pays d'Amérique centrale ont déjà réussi à intégrer des accords de coopération transfrontalière dans le domaine de l'eau dans des traités plus larges, par exemple sur la protection de l'environnement. Citons par exemple les accords conclus entre le Guatemala, le Honduras et El Salvador, et entre le Guatemala et le Mexique (CEE/UNESCO/ONU-Eau, 2018). Les progrès réalisés dans l'utilisation des changements climatiques comme point de départ d'une coopération transfrontalière plus large, comme la coopération dans le bassin de la rivière Dniestr soulignée dans la section précédente, indiquent un potentiel similaire dans la région de la CEPALC.

10.6 Asie et Pacifique – Perspective de la CESAP

10.6.1 Impacts des changements climatiques liés à l'eau sur les secteurs et les ODD

Les projections des effets des changements climatiques liés au niveau sous-régional en Asie et dans le Pacifique (GIEC, 2014a) présentent de grandes variations et un faible niveau de fiabilité. Les impacts climatiques liés à l'eau se recoupent avec d'autres tendances socioéconomiques qui ont une incidence sur la qualité et la quantité de l'eau, notamment l'industrialisation (qui modifie la demande sectorielle d'eau et accroît la pollution), la croissance démographique et l'urbanisation rapide. Ces derniers ont également accru l'exposition aux risques naturels liés à l'eau, comme les inondations (CESAP/UNESCO/OIT/ONU Environnement/FAO/ONU-Eau, 2018).

La région est très vulnérable aux catastrophes d'origine climatique et aux phénomènes météorologiques extrêmes, qui touchent de façon disproportionnée les personnes pauvres et vulnérables (ODD 1, ODD 11)

³³ Estimation pour 12 pays (le Brésil, le Chili, la Colombie, la République dominicaine, l'Équateur, El Salvador, le Honduras, le Mexique, le Panama, le Paraguay, le Pérou et le Venezuela).

(UNDRR/CCNUCC/Bureau régional des Nations unies pour l'environnement en Asie et dans le Pacifique, 2019). Pendant le seul mois d'août 2017, 40 millions de personnes au Bangladesh, en Inde et au Népal ont été touchées par d'intenses pluies de mousson, faisant près de 1 300 morts et envoyant 1,1 million de personnes dans des camps de secours. Les inondations pourraient coûter à l'Asie du Sud jusqu'à 215 milliards de dollars par an d'ici à 2030 (CESAP/BAsD/PNUD, 2018). On s'attend également à ce que les inondations contaminent les sources d'eau, détruisent les points d'eau et les installations sanitaires, et posent donc un défi pour l'accès universel à des services durables d'approvisionnement en eau et d'assainissement (ODD 6) (CESAP/UNESCO/OIT/ONU Environnement/FAO/ONU-Eau, 2018).

Les changements climatiques et l'augmentation de la demande d'eau mettront à rude épreuve les ressources en eau souterraine de la région, car la disponibilité des eaux de surface est affectée par la variabilité croissante du climat. L'utilisation des eaux souterraines dans la région pourrait augmenter de 30 % d'ici 2050 (BAsD, 2016). L'augmentation de la demande d'irrigation est déjà à l'origine du stress qui pèse sur les eaux souterraines dans certaines régions, en particulier dans deux des principaux « paniers » alimentaires, la plaine du nord de la Chine et le nord-ouest de l'Inde (ODD 2) (Shah, 2005).

10.6.2 Réponses relatives aux politiques : avancées et défis

Une évaluation plus approfondie de trois pays de la région, à savoir le Bangladesh, la Chine et l'Indonésie, illustre les différents degrés de progrès dans la lutte intégrée contre l'eau et les changements climatiques (tableau 10.4). Le Bangladesh et l'Indonésie évaluent leurs progrès dans la mise en œuvre de la GIRE à un niveau inférieur à celui de la Chine. Sur la base de son plan de développement national, de son CND et de ses plans d'adaptation, le Bangladesh semble être allé relativement loin dans la mise en place d'une approche synergique de l'eau et des changements climatiques. Les questions relatives à l'eau sont également reconnues dans les stratégies climatiques de la Chine et de l'Indonésie, même s'ils proposent une prise en compte intégrée de l'eau et du climat moins évidente que le Bangladesh.

L'analyse documentaire réalisée pour ce chapitre n'a pas permis d'identifier d'initiatives transfrontalières comportant une forte dimension de changement climatique dans les trois pays de l'échantillon, bien que cela puisse correspondre à un écart plus important dans les rapports sur la coopération transfrontalière dans la région asiatique (CEE/UNESCO/ONU-Eau, 2018). Les questions relatives aux eaux transfrontalières sont brièvement mentionnées dans les plans de développement nationaux du Bangladesh et de la Chine, mais n'ont pas été identifiées dans leurs stratégies climatiques respectives.

10.6.3 Possibilités d'accélérer l'action eau-climat aux niveaux national et régional

Les priorités identifiées au niveau national sont : le renforcement de la gouvernance et de la productivité de l'eau afin de gérer la concurrence entre les besoins en eau de l'agriculture, de l'énergie, de l'industrie, des villes et des écosystèmes (BAsD, 2016 ; GIEC, 2014a) ; la promotion des solutions naturelles pouvant réduire les émissions et augmenter la résilience (GIEC, 2018b) ; et l'intégration des changements climatiques et de la DRR dans l'ensemble du cycle des projets et des politiques (UNDRR/CCNUCC/Bureau régional du PNUE en Asie et dans le Pacifique, 2019).

Les changements climatiques pourraient avoir un effet négatif sur l'intégration nécessaire de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques, accentuant l'incertitude et à la complexité et rendant plus difficile la réalisation de ces priorités. Cependant, les changements climatiques peuvent également contribuer à catalyser des réformes politiques capables de répondre à de plus grandes pressions sur les ressources en eau et offrir des possibilités d'action sur ces types de défis de longue date dans le cadre de la gestion de l'eau. La plaine de Chine du Nord, l'une des plus importantes régions productrices d'aliments de la Chine, où vivent plus de 400 millions de personnes, en est un exemple (Kang et Eltahir, 2018). Ici, la menace des changements climatiques justifie en partie une réponse concertée relative à la baisse des niveaux d'eau souterraine, même si le facteur immédiat des changements est l'irrigation intensive. Dans la province de Hebei, par exemple, les prélèvements sont mesurés indirectement via la consommation d'énergie (compteurs d'électricité sur les pompes) ; de nouveaux modèles hydrogéologiques sont utilisés pour prévoir la réponse du système d'eaux souterraines aux changements dans les prélèvements, les précipitations et les conditions climatiques à plus long terme ; et des leviers économiques et réglementaires sont utilisés pour mettre en cohérence (progressivement) les prélèvements et la disponibilité prévue des ressources en eau. Toutes ces mesures ne sont pas forcément appréciées par les agriculteurs, mais les changements climatiques fournissent une justification politiquement neutre pour conduire le dialogue et la réforme de la politique de l'eau (Li et al., 2018).

Tableau 10.4 Aperçu des pays d'Asie et du Pacifique : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans leur stratégie et leur mise en oeuvre

Pays	Score de GIRE (PNUF, 2018)	Échelle	Plan national	CDN	Plan d'adaptation	Exemples d'actions régionales ou transfrontières clés pour l'eau et le climat
Bangladesh	50 (moyen-faible)	National	Le Septième plan sur cinq ans (2016-2020) comprend des stratégies distinctes pour l'agriculture et les ressources en eau, le développement durable, l'environnement et les changements climatiques. Les changements climatiques sont reconnus comme étant l'un des dix défis du domaine de l'eau et l'une des quatorze stratégies sur l'eau. Dans le cadre du Plan sur 100 ans du Delta (BDP 100), établir une société résiliente aux changements climatiques représente le premier défi du domaine de l'eau (Gouvernement de la République populaire du Bangladesh, 2015). Les outils de surveillance des changements climatiques ont aussi été intégrés dans les plans annuels de développement.	La CDN détermine un objectif d'adaptation en dix domaines d'action clés sur lesquels huit concernent les questions de gestion de l'eau, même si les liens avec l'eau ne sont pas toujours explicitement présentés. Ces domaines englobent la sécurité alimentaire, la gestion des catastrophes, la gestion des zones côtières et la conservation des zones humides et côtières basée sur la communauté locale.	Le Bangladesh est l'un des premiers pays les moins avancés à soumettre son programme d'action d'adaptation national en 2005. Il a été actualisé en 2009. La Stratégie et le plan d'action du Bangladesh sur les changements climatiques (BCCSAP) ont été approuvés en 2009 et ont été exécutés jusqu'en 2018. La majorité des 44 programmes prioritaires sont directement ou indirectement liés à la gestion de l'eau. Ils comprennent l'amélioration des cultures, la gestion de la sécheresse, la gestion des catastrophes, ainsi que la gestion des infrastructures et des forêts du Bangladesh, 2009). Un plan national d'adaptation est en cours d'élaboration.	Aucun projet actuel sur la gestion transfrontière de l'eau axée sur les changements climatiques n'a été identifié. Le Bangladesh et l'Inde sont parties au Traité sur le partage des eaux du Gange (1996), qui vise à garantir l'approvisionnement en eau lors de la saison sèche dans le Gange (Gouvernement de la République d'Inde/ Gouvernement de la République populaire du Bangladesh, 1996). Les accords entre le Bangladesh et l'Inde sur la réduction des risques de catastrophe liée à l'eau, notamment sur le partage de données relatives aux inondations des fleuves transfrontières, ont également été conclus dans le cadre du Statut de la Commission conjointe Inde-Bangladesh (1972). Il n'existe toutefois pas d'accord sur le partage des eaux pour les 56 autres fleuves transfrontières à l'exception du Gange.
Chine	75 (élevé)	National	Le Plan sur cinq ans de la Chine (2016-2020) place en priorité le renforcement de la sécurité de l'eau, notamment grâce à une utilisation plus efficace des ressources en eau. Le document présente les projets relatifs à la sécurité de l'eau qui contribuent tous à des « systèmes globaux de contrôle et d'atténuation des inondations ». On compte parmi les autres domaines d'intervention la protection des ressources en eau et le contrôle de la pollution des eaux par l'intermédiaire de la gestion intégrée des ressources en eau.	Les ressources en eau sont un axe clé d'adaptation, et renforcer la résilience aux changements climatiques impliquera d'optimiser l'allocation des ressources en eau tout en mettant en oeuvre la réglementation la plus stricte en matière de gestion de l'eau.	La gestion des ressources en eau est identifiée comme un domaine prioritaire par la Stratégie nationale d'adaptation. Diverses stratégies de conservation, de restauration et d'utilisation écologiques sont encouragées pour aider le secteur de l'eau à s'adapter tout en gérant des demandes complexes (Commission nationale du développement et de la réforme, 2013).	Aucun projet actuel sur la gestion transfrontière de l'eau axée sur les changements climatiques n'a été identifié. La Chine coopère avec les parties à l'accord du Mékong (encadré 10.3), mais n'est pas elle-même une partie. Elle a, de manière séparée, établi une coopération Lancang-Mékong avec cinq autres rivières du Mékong. Le Plan d'action sur cinq ans sur la coopération Lancang-Mékong (2018-2022) mentionne brièvement les changements climatiques dans le cadre de la « coopération non traditionnelle en matière de sécurité » et des « ressources en eau ».
Indonésie	48 (moyen-faible)	National	Le Plan stratégique sur cinq ans de l'Indonésie (RPJMN 2015-2019) reconnaît les changements climatiques comme une menace intersectorielle. La sécurité de l'eau est un objectif prioritaire. Le document établit une liste des activités visant à améliorer la conservation des bassins hydrographiques versants, la disponibilité de l'eau et l'accès à l'eau potable et à l'assainissement (République d'Indonésie, 2014a). Le plan stratégique sur cinq ans pour 2020-2024 est en cours de développement.	La sécurité de l'eau est reconnue comme une condition favorable à la résilience aux changements climatiques. La CDN se réfère aux actions renforcées pour la gestion intégrée des bassins hydrographiques versants en vue de la résilience économique, ainsi que de la résilience des écosystèmes et des sols.	Rancana Aksi Nasional – Perubahan Iklim (RAN-API, 2014), le plan national d'adaptation d'Indonésie, comprend des stratégies clés la gestion de la qualité de l'eau et le contrôle de la pollution des eaux, la consommation économique et la gestion de la demande en eau, ainsi que l'utilisation des ressources en eau d'une manière juste, efficace et durable (République d'Indonésie, 2014b).	Aucun projet actuel sur la gestion transfrontière de l'eau axée sur les changements climatiques n'a été identifié.
		Transfrontière	Le plan national reconnaît l'ambition de mettre en oeuvre des mesures bien planifiées pour développer et exploiter l'eau des bassins hydrographiques transfrontaliers, ainsi que développer la coopération transfrontière pour l'eau avec les pays avoisinants.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.
		Transfrontière	Le Plan national met l'accent sur le fait que le Bangladesh dépend des États d'amont pour développer ses ressources en eau de manière significative et globale. Le Bangladesh avait l'intention de conclure immédiatement des accords avec les autres pays riverains pour partager les eaux des fleuves internationaux, échanger des données, planifier les ressources et gérer à long terme les ressources en eau, dans des conditions ordinaires et d'urgence. Des liens explicites sont faits vers les phénomènes extrêmes liés à l'eau, mais pas vers les changements climatiques.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.

Source : Auteurs.

À l'instar d'autres régions, la coopération entre les pays contribuera à stimuler et à renforcer les actions nationales. Dans le domaine de l'investissement, il est estimé qu'un investissement supplémentaire de 21 à 47 milliards de dollars EU d'ici 2030 est nécessaire pour rendre les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement résilientes aux changements climatiques en Asie et dans le Pacifique. De nombreux pays, notamment les petits États insulaires en développement (PEID) et les pays les moins avancés (PMA), font face non seulement à un manque de financement, mais aussi à des difficultés d'accès et d'attraction de fonds. Ces pays auront besoin d'un soutien pour accroître leur état de préparation à l'investissement, par exemple pour préparer un ensemble de projets pouvant être financés. Cette aide peut provenir d'organisations internationales et régionales, mais elle peut également être renforcée par des échanges entre pays d'Asie et du Pacifique (UNDRR/CCNUCC/Bureau régional du PNUE en Asie et dans le Pacifique, 2019).

Il est urgent d'établir un cadre de coopération régionale en matière d'investissement et d'information, ainsi que dans des domaines institutionnels tels que la gouvernance, les capacités et les partenariats, dans les bassins hydrographiques transfrontaliers de l'Asie. Ces bassins sont confrontés à d'énormes défis découlant du développement, notamment l'urbanisation, l'hydroélectricité et la pollution, et des changements climatiques. Le Bangladesh, par exemple, abrite le plus grand delta du monde. Il se trouve au confluent de trois grands fleuves qui drainent les terres du Bhoutan, de la Chine, de l'Inde et du Népal, mais il ne représente que 7 % de la zone de captage de ces bassins (Rasheed, 2008). Le plan de développement national actuel reconnaît que le Bangladesh ne peut pas entreprendre seul de véritables programmes de développement des ressources en eau et a pour objectif de conclure de nouveaux accords transfrontaliers (tableau 10.4). Toutefois, à ce jour, un seul de ses 57 fleuves transfrontaliers, le Gange, qu'il partage avec l'Inde, bénéficie d'un accord de partage de l'eau (ONU Environnement, 2017). D'autres progrès ont été réalisés dans le cadre de la lutte contre les problèmes climatiques liés à l'eau dans le bassin du Mékong, qui devrait accueillir 83 millions de personnes d'ici 2060 (MRC, 2016). Ces actions montrent que les changements climatiques ont constitué un point focal pour la coopération régionale, mais illustrent également la façon dont ils peuvent compliquer davantage la gestion intégrée, par exemple en créant des concessions réciproques supplémentaires autour de l'hydroélectricité (encadré 10.3).

10.7 Asie occidentale et Afrique du Nord – Perspective de la CESAO

10.7.1 Impacts des changements climatiques liés à l'eau sur les secteurs et les ODD

Le degré de vulnérabilité aux changements climatiques va de modéré à élevé dans toute la région, avec un gradient généralement croissant du nord au sud. Il s'agit là d'une des principales conclusions du RICCAR, un exemple important d'évaluation de l'impact et de la vulnérabilité d'une région en particulier, qui met fortement l'accent sur les impacts liés à l'eau. Le RICCAR prévoit une tendance à la baisse importante des précipitations dans toute la région jusqu'à la fin du siècle. Le ruissellement et l'évapotranspiration suivent généralement les mêmes tendances que les précipitations, bien que l'évapotranspiration soit limitée par les contraintes liées à la pénurie d'eau dans certaines régions. Les températures dans la région arabe sont à la hausse et, selon un scénario de fortes émissions, elles devraient continuer à augmenter jusqu'à la fin du siècle pour atteindre 4 à 5 °C au-dessus de leurs niveaux préindustriels (CESAO et al., 2017 ; FAO/GIZ/ ACSAD, 2017).

Les régions les plus vulnérables aux changements climatiques sont la Corne de l'Afrique, le Sahel et la partie sud-ouest de la péninsule arabique. Il s'agit de points névralgiques de la stratégie d'adaptation, quel que soit le secteur étudié ou le scénario climatique projeté, et qui abritent plusieurs PMA de la région. Bien que leur exposition aux changements climatiques varie, ils font tous état d'une faible capacité d'adaptation. Même dans les régions où on prévoit une augmentation des précipitations et des températures moyennes modérées – comme c'est le cas dans la plupart des régions de la Corne de l'Afrique – les faibles niveaux de capacité d'adaptation rendent les populations très vulnérables. En fonction des changements prévus de la disponibilité de l'eau et de la capacité d'adaptation, les zones les plus vulnérables en ce qui concerne les ressources en eau sont la vallée du Nil supérieur, la partie sud-ouest de la péninsule arabique et la partie nord de la Corne de l'Afrique (CESAO et al., 2017).

Encadré 10.3 Changements climatiques : compliquer tout en stimulant la coopération transfrontalière sur le Mékong

Le bassin du Mékong a fait l'objet d'efforts énergiques visant à élaborer des réponses transfrontalières aux changements climatiques, en particulier dans le bassin hydrographique inférieur. Ici, d'importants changements infrastructurels et socioéconomiques sont déjà à l'origine d'énormes pressions ; c'est le cas des barrages qui perturbent les flux environnementaux, ainsi que la migration des poissons (Evers et Pathirana, 2018). De plus, le phénomène El Niño et les changements climatiques raccourcissent la saison de la mousson. En 2019, les niveaux d'eau sont tombés à leur plus bas niveau depuis 100 ans, bien que les décisions de gestion de l'eau en amont, notamment la rétention des débits pour l'hydroélectricité, aient également été un facteur aggravant (Lovgren, 2019).

Dans le bassin inférieur du Mékong, les pays membres de la Commission du Mékong, notamment le Cambodge, République démocratique populaire lao, Thaïlande et Viet Nam, ont élaboré la Stratégie d'adaptation aux changements climatiques et le Plan d'action du Mékong (MRC, 2018). Comme exemple d'adaptation aux changements climatiques, la Stratégie définit sept priorités stratégiques, proposant ainsi un point focal et un catalyseur pour la coopération transfrontalière sur l'eau. Ce sont : la planification et la programmation ; le soutien à l'accès au financement pour l'adaptation ; et l'amélioration des partenariats régionaux et internationaux et de la coopération en matière d'adaptation (MRC, 2018).

Il sera difficile de mettre en œuvre une adaptation transfrontalière complète sur le Mékong. La Chine, dont le territoire représente environ un cinquième du bassin hydrographique et qui contribue à hauteur de 16 % au débit du bassin du Mékong, n'est pas membre de la Commission du Mékong, pas plus que le Myanmar, qui représente également une petite part du territoire et du flux (Evers et Pathirana, 2018). Tous les pays ont des ambitions de développement justifiées, pour lesquelles l'eau est essentielle. Si la sécurité énergétique est souvent une considération majeure pour les pays qui développent leurs ressources hydroélectriques, l'atténuation des émissions peut également servir à justifier le développement du secteur de l'hydroélectricité. Ceci permet de comprendre comment les changements climatiques peuvent compliquer les concessions réciproques existantes en matière de gestion de l'eau. Les données scientifiques sur les avantages et les coûts liés au climat de l'hydroélectricité sont, en outre, incertaines : les émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'activité hydroélectrique du Mékong se sont révélées très variables (Räsänen et al., 2018), tout comme les effets prévus des changements climatiques sur la production hydroélectrique, à travers les variations de ruissellement (MRC, 2018). Il faut tenir compte de ces incertitudes au moyen d'une évaluation des options appropriées et robustes, qui doit également tenir compte de la valeur des services écosystémiques ainsi que des espèces qui dépendent de la rivière et de ses débits naturels. Les efforts de la Commission du Mékong et des pays membres en matière d'adaptation aux changements climatiques constituent toutefois un important point de départ et un signal pour intensifier la coopération sur les changements climatiques dans les bassins hydrographiques transfrontaliers à travers l'Asie.

Les grands défis liés aux changements climatiques et la capacité d'adaptation limitée sont liés à des dynamiques socioéconomiques et politiques complexes qui ont une incidence sur l'eau aux niveaux régional, national et infranational. La politisation et la militarisation des ressources en eau, le déplacement et la dégradation des infrastructures d'adduction d'eau ont constitué des défis majeurs pour les pays touchés par les conflits (CESAO/IOM, 2017 ; CESAO, 2018). Les inégalités en matière d'accès et de contrôle des ressources en eau persistent, en particulier entre les zones urbaines et rurales et entre les sexes (CESAO/BGR, 2013 ; CESAO, 2018). Presque tous les États arabes sont très interdépendants, car ils dépendent souvent de ressources partagées, stratégiquement importantes, transfrontalières de surface et d'eau souterraine. Cette situation complique la mise en place d'une politique de l'eau cohérente et intégrée au niveau national (CESAO et al., 2017).

Les effets des changements climatiques liés à l'eau, exacerbés par ces autres défis de gestion de l'eau, menacent la réalisation de nombreux ODD en plus de l'ODD 6. Par exemple, la Banque mondiale a identifié l'Asie de l'Ouest et l'Afrique du Nord comme les régions les plus menacées par la pénurie d'eau aggravée par les changements climatiques, coûtant jusqu'à 6 % du PIB d'ici à 2050 (ODD 8) (Banque mondiale, 2016a). Dans le secteur agricole, plus de la moitié de la superficie des grands systèmes de culture de la région arabe se trouve dans les deux classes de vulnérabilité les plus élevées selon l'évaluation du RICCAR, la vallée du Nil, la partie sud-ouest de la péninsule arabique, le bassin du Tigre-Euphrate et les parties occidentales de l'Afrique du Nord étant les plus vulnérables. Les changements combinés de température, de précipitations et d'évapotranspiration menaceront également la base de ressources alimentaires pour le bétail, pourraient provoquer l'effondrement des ressources halieutiques et pourraient potentiellement réduire la productivité forestière (ODD 2) (FAO/GIZ/ACSAD, 2017). Les changements de température pourraient accroître le risque de certaines maladies liées à l'eau, notamment la diarrhée et la schistosomiase. Lorsque les femmes et les

enfants sont chargés des tâches ménagères liées à l'eau, on peut également assister à des vulnérabilités fondées sur le sexe (ODD 3, ODD 5) (UNU-INWEH, 2017).

10.7.2 Réponses relatives aux politiques : avancées et défis

Une évaluation plus approfondie de trois pays de la région – la Jordanie, la Mauritanie et la Tunisie – montre un engagement à intégrer les défis climatiques liés à l'eau dans les principaux documents stratégiques (tableau 10.5). Le plan de développement national de la Jordanie reconnaît que les effets des changements climatiques sur l'eau constituent une menace pour le développement, tandis que sa CDN se distingue par l'inclusion de mesures d'atténuation liées à l'eau, en plus de considérer l'eau du point de vue de l'adaptation. La CDN de la Mauritanie accorde la priorité aux mesures d'adaptation liées à l'eau et, comme il a été indiqué, son PANA accorde une grande importance à la GIRE comme solution d'adaptation. Les CDN de la Tunisie et de la Jordanie mentionnent tous deux des actions liées à l'eau dans d'autres secteurs, outre celui de l'eau, reconnaissant implicitement la contribution à d'autres ODD. Toutefois, ces exemples mettent également en évidence certaines lacunes. Les plans nationaux de développement de la Tunisie et de la Mauritanie ne font aucune mention de la pertinence de la gestion des ressources en eau dans la lutte contre les changements climatiques. Malgré l'accent mis par la Mauritanie sur sa GIRE et les mesures institutionnelles connexes dans son NAPA, sa CDN ne donne pas explicitement la priorité au renforcement institutionnel pour la gestion de l'eau. Le niveau de mise en œuvre de la GIRE dans les trois pays donne à penser que des mesures importantes sont nécessaires pour améliorer la gestion de l'eau en tant que fondement de la gestion des impacts des changements climatiques. La Tunisie et la Jordanie ont évalué leurs progrès dans le cadre de la mise en œuvre comme étant « moyennement élevés », et la Mauritanie comme étant « moyennement faibles » (ONU Environnement, 2018).

Au-delà du niveau national, les questions d'eau transfrontalières dans un contexte de changements climatiques ne sont que très peu abordées, malgré leur pertinence pour les pays considérés. Par exemple, dans le bassin de Medjerda partagé par l'Algérie et la Tunisie, la modélisation du RICCAR prévoit des conditions significativement plus sèches, avec une augmentation des sécheresses sévères et extrêmes dans le scénario des émissions élevées. Le fleuve Medjerda contribue à l'approvisionnement en eau de la moitié de la population tunisienne et à la sécurité alimentaire. Entre-temps, les deux pays sont aux prises avec les conséquences de l'utilisation de cette ressource partagée à des fins de développement, notamment des plans d'expansion de l'hydroélectricité, et de la résolution de problèmes déjà difficiles liés à la sédimentation et à la pollution. Aucun plan d'adaptation ne serait complet sans une coopération transfrontalière dans le bassin de Medjerda.

Les deux autres pays, cependant, se sont lancés dans des projets régionaux visant à exploiter l'eau comme « connecteur climatique ». Le projet de développement de la résilience aux changements climatiques du bassin hydrographique du fleuve Sénégal, qui vise à renforcer la gestion transfrontalière de l'eau dans le bassin, notamment par l'adaptation aux changements climatiques, en Guinée, au Mali, en Mauritanie et au Sénégal, en est un exemple. Un autre exemple vise à résoudre les problèmes liés aux changements climatiques auxquels sont confrontées les personnes déplacées dans les établissements urbains d'accueil en Jordanie, en reconnaissant que l'eau agit également comme « connecteur climatique » par le déplacement humain (tableau 10.5).

10.7.3 Possibilités d'accélérer l'action eau-climat aux niveaux national et régional

Lors de la Consultation régionale sur les changements climatiques pour le Forum arabe pour le développement durable (AFSD) de 2019 et le Forum politique de haut niveau (CESAO, 2018), les parties prenantes régionales ont identifié de nombreuses priorités et opportunités liées à l'eau, notamment :

- **Le développement urbain durable**, pour assurer l'approvisionnement en eau, l'assainissement et le traitement des eaux usées, et gérer les risques d'inondation sous un climat changeant ;
- **L'amélioration des données, de la recherche et de l'innovation**, y compris les prévisions climatiques saisonnières et sous-saisonnières au niveau régional, la recherche sur l'agriculture adaptée aux changements climatiques, et l'élaboration et l'utilisation d'outils de suivi et de mesures de l'adaptation ;
- **Le renforcement de la résilience des communautés vulnérables** exposées aux inondations et aux sécheresses, et menacées par l'insécurité alimentaire, notamment par le recours à des mécanismes de protection sociale tels que l'assurance de l'indice météorologique et la diversification économique ;

Tableau 10.5 Aperçu des pays d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans la stratégie et la mise en œuvre

Pays	Score de GIRE (PNUE, 2018)	Echelle	Plan national	Contribution déterminée au niveau national (CND)	Plan d'adaptation	Exemples d'actions régionales ou transfrontières clés pour l'eau et le climat
Jordanie	63 (moyen-élevé)	National	Jordanie 2025 considère le déséquilibre entre l'offre et la demande en eau comme un défi clé, qui est exacerbé par les changements climatiques. Les plans se focalisent sur le développement d'une offre nouvelle et alternative, ainsi que sur la gestion de la demande, mais ne mentionnent pas explicitement les changements climatiques. Le rendement énergétique et les énergies renouvelables sont mentionnés comme moyens de réduire les coûts.	La CDN comprend des actions d'atténuation liées à l'eau, y compris le rendement énergétique et les énergies renouvelables dans le secteur de l'eau. Les actions d'adaptation liées à l'eau comprennent la gestion de la demande et le suivi des ressources en eau. L'eau est également dans le cadre des actions pour l'agriculture et l'adaptation socioéconomique.	Les informations disponibles sur le plan national d'adaptation (en développement) indiquent que plusieurs effets des changements climatiques liés à l'eau seront pris en compte, notamment la désertification, les pénuries d'eau, les variations dans l'intensité des pluies et les sécheresses. L'eau sera l'un des six domaines prioritaires abordés.	Le projet, pour lequel le Fonds pour l'adaptation a alloué une subvention et intitulé « Increasing the Resilience of Displaced Persons to Climate Change-related Water Challenges in Urban Host Settlements » (renforcer la résilience des personnes déplacées aux pénuries d'eau liées aux changements climatiques dans les établissements d'accueil urbains). Traitement des impacts liés à l'eau du déplacement transfrontière.
		Transfrontière	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Le plan national d'adaptation complet n'est pas encore disponible.	
Mauritanie	45 (faible à intermédiaire)	National	Les changements climatiques ont été identifiés comme l'un des trois risques fondamentaux pour la mise en œuvre de la Stratégie de croissance accélérée et de prospérité partagée 2016-2030 de Mauritanie. Celle-ci comprend quelques détails sur les tendances et les projections relatives aux changements climatiques, ainsi que sur les projets et programmes sur l'eau, sauf en ce qui concerne l'agriculture. Elle s'axe sur le développement et la réhabilitation des infrastructures d'irrigation (Ministère mauritanien de l'économie et des finances, 2017).	Les conséquences sur les ressources en eau sont abordées. Près de la moitié des 19 activités d'adaptation dans la CDN concernent l'eau, y compris l'assainissement, la cartographie des ressources, le contrôle à distance et les projets d'infrastructures (de construction, par exemple dessalement, offre en eau, et naturelles, par exemple la réhabilitation des zones humides).	Le Programme national d'adaptation aux changements climatiques (NAPA-RIM, 2004) considère la gestion intégrée des ressources en eau GIRE comme une « solution appropriée » pour s'adapter aux changements climatiques. Les activités prioritaires d'adaptation dans le secteur de l'eau sont détaillées et concernent les connaissances relatives aux ressources en eau, la distribution en irrigation au goutte-à-goutte, les écluses visant à ralentir l'écoulement, l'installation et la formation à l'utilisation de pompes électriques aux fins de l'irrigation, la gestion des eaux souterraines, le contrôle piézométrique et le contrôle de la qualité de l'eau (République islamique de Mauritanie, 2004).	Le projet de renforcement de la résilience aux changements climatiques dans le bassin du fleuve Sénégal financé par le FEM, mis en œuvre par la Banque mondiale et exécuté par l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS), vise à améliorer la gestion transfrontière des ressources en eau dans le bassin grâce au renforcement institutionnel, à la production et au partage de connaissances, et à l'exécution de programmes relatifs à l'adaptation aux changements climatiques et à la gestion intégrée de l'eau. Il est en vigueur en Guinée, au Mali, en Mauritanie et au Sénégal.
		Transfrontière	L'importance du fleuve Sénégal et de l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) est mentionnée en ce qui concerne l'intégration régionale de l'énergie, la pêche et les voies navigables, mais pas dans le cadre spécifique de l'adaptation aux changements climatiques ou l'atténuation de ceux-ci.	Les changements climatiques ont été reconnus comme un défi important pour la pêche sur le fleuve Sénégal, mais il n'est fait mention d'aucune réponse transfrontière.	Le fleuve Sénégal et l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) sont brièvement mentionnés dans le cadre de certaines activités. Aucun détail n'est donné sur les défis et réponses en matière de gestion transfrontière de l'eau.	
Tunisie	55 (moyen-élevé)	National	Les changements climatiques sont reconnus comme un défi fondamental dans le <i>Plan de développement 2016-2020</i> , mais ne sont pas spécifiquement mentionnés dans les objectifs, les réformes et les projets liés à l'eau, qui rentrent dans la catégorie « économie verte ».	Les actions d'adaptation liées à l'eau se focalisent sur le transfert et la réutilisation des eaux usées, ainsi que sur la garantie de l'approvisionnement dans les grands centres urbains. D'autres actions liées à l'eau sont mentionnées dans le cadre de l'agriculture, des écosystèmes, de la santé et du tourisme. La troisième communication nationale (2019) offre davantage de détails (Ministère tunisien des affaires locales et de l'environnement/FEM/PNUD, 2019).	Le Plan national d'adaptation n'est pas encore disponible. La troisième communication nationale fournit davantage de détails sur les initiatives d'adaptation relatives à l'eau, ainsi que sur divers autres secteurs.	Le projet intitulé « Regional Cooperation in the Water Sector in the Maghreb (CREM) » (coopération régionale en matière d'eau au Maghreb) est financé par le Ministère fédéral pour la coopération et de développement économiques et entrepris par GIZ et l'Observatoire du Sahara et du Sahel. Il vise à améliorer la gestion des ressources en eau en Algérie, au Maroc et en Tunisie par le biais de la coopération régionale et de plateformes de partage d'informations. Le projet CREM s'axe sur l'eau et les changements climatiques, y compris un séminaire sur le même sujet en octobre 2019.
		Transfrontière	Non mentionné explicitement.	Non mentionné explicitement.	Le Plan national d'adaptation n'est pas encore disponible.	

*Le résumé en français du plan de développement tunisien a été examiné (Plan de développement 2016-2020) (République de Tunisie, 2016).

Source : Auteurs.

- **L'intégration des politiques** entre l'atténuation, l'adaptation et le développement durable, et entre le climat et le lien eau-alimentation-énergie ; l'intégration des changements climatiques dans les stratégies, politiques et programmes nationaux ; et l'application des politiques (par exemple, pour les politiques d'efficacité de l'eau) ; et
- **L'amélioration de l'accès au financement**, notamment par le biais de fonds internationaux pour le climat et par le développement de marchés locaux et de produits d'investissement, tels que les obligations *sukuk* « vertes³⁴ », avec un soutien approprié des capacités pour la conception de projets pouvant être financés.

Bien que ces priorités indiquent les moyens de mise en œuvre, les parties prenantes des pays devront saisir les occasions qui se présenteront dans l'économie nationale et les traduire en actions, en commençant par les domaines où les avantages conjoints de la prise en compte conjointe de l'eau et des changements climatiques peuvent être démontrés assez facilement, et concevoir un dossier qui puisse convaincre les autres. En ce qui concerne le thème de l'investissement, l'expérience de la Jordanie en matière de gestion des eaux usées offre un exemple, avec des répercussions sur bon nombre des priorités susmentionnées. Pour ce qui est de l'amélioration de l'accès au financement dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques liés à l'eau, les initiatives de la Jordanie visant à attirer des financements mixtes pour les eaux usées montrent comment un soutien public et international ciblé peut permettre un retour sur investissement pour les investisseurs privés dans des projets de réutilisation et d'efficacité de l'eau.

Le système de traitement des eaux usées d'As-Samra a été initialement conçu en 2003 pour traiter les eaux usées de 2,3 millions d'habitants d'Amman et fournir des eaux usées traitées pour l'irrigation de la région environnante. Il est ensuite devenu nécessaire de procéder à une modernisation de l'usine en raison de la croissance rapide de la population et de l'afflux de réfugiés. Ce projet a été achevé en 2015, grâce à un financement mixte de 223 millions de dollars provenant du gouvernement de la Jordanie (9 %), de la Millennium Challenge Corporation (MCC) (42 %) et de la dette privée et du financement par actions (49 %). En plus de fournir un financement international qui a permis de combler un « écart de viabilité » pour les investisseurs privés, la MCC a également agi à titre de conseiller en opérations dans la préparation du projet (Banque mondiale, 2016c), soulignant encore une fois l'importance du soutien à la préparation des projets par les organisations internationales ou régionales. Le motif initial était la pénurie d'eau et la croissance démographique, plutôt que les changements climatiques (Banque mondiale, 2016c). Cependant, en 2018, la Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD) et l'UE ont convenu de soutenir une nouvelle expansion des capacités, visant de multiples avantages connexes : accroître la résilience des communautés locales, la récupérer l'énergie à partir des boues traitées et des débits d'eau (augmentant ainsi la sécurité énergétique et l'atténuation des changements climatiques) et répondre aux besoins supplémentaires créés par la crise des réfugiés syriens (Zgheib, 2018). Dans l'ensemble des pays de la CESA0, les changements climatiques pourraient servir de motivation supplémentaire pour le financement mixte afin d'investir dans la réutilisation et l'efficacité de l'eau (en particulier lorsque la pénurie d'eau devrait augmenter) et dans la récupération d'énergie à partir des eaux usées.

En examinant les possibilités au niveau régional, le document final de la Consultation régionale de 2019 (CESAO, 2018) met l'accent sur les possibilités pour les forums régionaux sur les perspectives climatiques de renforcer l'interaction entre les secteurs sensibles au climat et les fournisseurs de services d'informations relatives au climat. Ce point correspond au thème relatif aux informations, et l'Initiative régionale pour l'évaluation des répercussions des changements climatiques sur les ressources en eau et la vulnérabilité socioéconomique dans la région arabe constitue elle-même un exemple positif cité dans le document. Bien que cela ne soit pas mentionné dans le document final, il sera crucial pour les pays de la CESA0 de prendre en compte les effets des changements climatiques liés à l'eau autour des bassins hydrographiques transfrontaliers, notamment en ce qui concerne les aquifères transfrontaliers dont nombre de ces bassins dépendent (CEE/UNESCO/ONU-Eau, 2018).

³⁴ Un *sukuk* est une obligation sans intérêt qui génère des rendements pour les investisseurs sans enfreindre les principes du droit islamique (*charia*) (Banque mondiale, 2019).

10.8 Conclusion : promouvoir l'action en faveur de l'eau et du climat par la sensibilisation et la collaboration au niveau régional

Ce chapitre a passé en revue les CDN de 80 pays au sein des Commissions économiques régionales des Nations Unies. Quinze pays ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie, couvrant également les stratégies nationales de développement et les plans d'adaptation. Cette analyse a révélé des implications claires pour la formulation et surtout la mise en œuvre de la stratégie, ces tâches incombant à la fois aux acteurs nationaux et régionaux.

Les CDN et les autres stratégies envisagées font état de trois principales lacunes, que le prochain cycle de CDN ne devrait avoir aucun mal à combler. Premièrement, les risques et les réponses climatiques liés à l'eau sont trop souvent présentés comme des problèmes relevant principalement du secteur de l'eau, plutôt que comme des défis intersectoriels qui s'étendent à l'ensemble des ODD et touchant des domaines tels que l'agriculture, l'énergie, la santé, l'industrie, les villes et les écosystèmes.. Deuxièmement, le rôle de l'eau dans l'atténuation est négligé, malgré la nécessité de gérer les concessions réciproques liés à l'eau dans les choix d'atténuation (par exemple dans le développement hydroélectrique) et d'exploiter les avantages connexes, comme la réduction des émissions par le traitement des eaux usées (via le biogaz), ou des mesures d'efficacité de l'eau. La troisième lacune, et la plus importante, du point de vue régional, est le rôle de l'eau comme connecteur climatique, tant dans les bassins hydrographique transfrontaliers que dans les communautés liées par des éléments climatiques partagés. Les migrations, l'énergie et les flux alimentaires seront également fortement remodelés par les effets des changements climatiques liés à l'eau.

Au-delà de ces lacunes, d'autres conclusions indiquent dans quelle mesure les stratégies peuvent mieux préparer le terrain pour une exploitation optimale de la relation eau-climat *dans la pratique*, c'est-à-dire en vue d'assurer le financement et de passer à la mise en œuvre. Par exemple, certains pays doivent encore résister à la tentation de prioriser des infrastructures coûteuses dans leurs CDN comme moyen d'attirer des financements internationaux pour le climat, sans le renforcement et la réforme institutionnels correspondants. De nombreux pays pourraient également mieux utiliser les stratégies existantes en matière d'eau pour définir leurs stratégies climatiques, étant donné que le climat interagit invariablement avec de multiples facteurs de stress déjà connus des gestionnaires des ressources en eau. Les alternatives et les compléments aux mesures relatives aux infrastructures et à l'offre, notamment la gestion de la demande et des solutions naturelles, devraient également occuper une place plus importante dans les efforts visant à gérer la variabilité et les changements climatiques par le biais de l'eau, non seulement dans les plans climatiques, mais aussi dans les plans d'aménagement du territoire, de développement urbain et de bassins fluviaux (Browder et al., 2019). Enfin, il doit y avoir une amélioration de la précision et de la qualité des propositions de projets dans le domaine de l'eau et du climat pour que le financement de la lutte contre les changements climatiques atteigne les niveaux nécessaires pour les défis à venir (chapitre 12).

Veiller à ce que l'action eau-climat soit bien encadrée dans les CDN, les PANA et dans les stratégies économiques et sectorielles nationales est une première étape cruciale, mais l'écart entre la stratégie et la mise en œuvre ne peut être comblé uniquement par des mots. L'examen de 2018 des cibles 6.5.1 et 6.5.2 des ODD a montré que de nombreux pays ont éprouvé des difficultés à mettre en œuvre la GIRE (même dans le cadre d'une hypothèse implicite de stationnarité climatique) et à conclure des accords avec leurs voisins pour encadrer la gestion des bassins hydrographique transfrontaliers. L'urgence imposée par les changements climatiques accroît la nécessité d'accélérer la mise en œuvre sur ces deux plans, d'une part pour éviter les problèmes d'adaptation et d'autre part pour tirer parti à la fois des mesures d'atténuation et des avantages connexes de l'adaptation.

Bien que le niveau national continuera à jouer un rôle déterminant dans la lutte contre les changements climatiques, les approches régionales visant à soutenir les changements de mise en œuvre au niveau national ont elles aussi un rôle essentiel à jouer. Trois domaines s'avèrent importants : améliorer la collaboration et la coordination entre les **institutions** responsables ; veiller à ce que l'action repose sur des **informations** et des preuves solides ; et accroître l'accès aux financements publics et privés pour les **investissements** à l'épreuve des changements climatiques.

En ce qui concerne les **institutions**, il a été démontré que les changements climatiques offrent un point de départ pour le dialogue régional et la coopération sur l'eau, que ce soit au niveau du projet ou de la stratégie (par exemple dans les bassins de Chu-Talas, du Mékong, du Niger, de la Volta et de Victoria) ou, à son niveau le plus fort, pour stimuler la mise en place d'accords et d'institutions transfrontières plus larges, comme dans le bassin de Dniestr.

Les organisations régionales ont un rôle évident à jouer dans la commande et la diffusion **des connaissances et des informations** sur le climat et l'eau. L'Initiative régionale pour l'évaluation des répercussions des changements climatiques sur les ressources en eau et la vulnérabilité socioéconomique dans la région arabe et l'initiative Recherche sur le climat pour le développement présentées dans ce chapitre soulignent également les avantages de la participation des scientifiques et de la promotion de l'adoption de l'information par les décideurs clés dès le départ, afin de garantir que les efforts soient ancrés dans les contextes décisionnels nationaux et régionaux et que les informations climatiques liées à l'eau soient effectivement utilisées. La collaboration en matière de partage de l'information a longtemps constitué un point d'ancrage important pour une collaboration plus large sur les questions transfrontalières – par exemple, entre le Bangladesh et l'Inde sur les inondations – et les changements climatiques est susceptible d'accroître l'impératif à cet égard.

En termes d'**investissement**, la coopération régionale sur les changements climatiques liés à l'eau est particulièrement importante, car elle peut créer des possibilités d'économies d'échelle, en particulier lorsqu'elle s'inscrit dans des priorités politiques et économiques communes. En Afrique australe, le Mécanisme de développement d'infrastructures résilientes aux changements climatiques (CRIDF) cible délibérément les initiatives sur le climat et l'eau dans les bassins hydrographiques transfrontaliers pour parvenir à ces économies d'échelle, en aidant les pays à préparer leurs projets et en identifiant des options de financement viables. Les bassins hydrographiques transfrontaliers offrent une unité naturelle pour encourager la coopération entre les États riches et les États pauvres dans un bassin, comme cela se passe dans le Danube, ce qui pourrait faciliter les flux d'investissement ainsi que l'assistance technique. Ici encore, il est vital de mettre en place une interface solide entre les niveaux régional et national. Le mécanisme souverain d'assurance contre les catastrophes mis en place par l'ARC montre comment les initiatives régionales de facilitation du financement sont les plus efficaces lorsqu'elles sont bien liées aux systèmes nationaux – en l'occurrence, les systèmes de protection sociale qui peuvent acheminer les paiements d'assurance aux communautés touchées par la sécheresse. Enfin, en plus de faciliter l'accès au financement international dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, les organisations régionales et internationales peuvent aider les pays à procéder à des réformes budgétaires et à améliorer leur solvabilité, améliorer l'environnement national pour le financement d'infrastructures d'adduction d'eau résilientes aux changements climatiques, comme l'indiquent les évaluations des politiques sur les changements climatiques de la Banque mondiale et du FMI.

De même que la soumission de nouvelles CDN et de CDN mises à jour par les pays de façon individuelle offre une fenêtre d'opportunités au niveau national, il existe des points de départ spécifiques pour une action au niveau régional dans ces trois domaines. L'un de ces points est la réforme du système de développement des Nations Unies et ses réflexions au niveau régional, qui sont en cours et qui visent une utilisation plus cohérente et mieux coordonnée des capacités et des ressources régionales à l'appui des priorités nationales (ECOSOC, 2018). Les autres points d'entrée sont les forums régionaux et les groupes de négociation dans le cadre des négociations et des processus internationaux sur le climat, comme les semaines régionales du climat de la CCNUCC qui se tiennent chaque année en Afrique, en Amérique latine et dans les Caraïbes, et l'Asie-Pacifique, qui pourraient mettre en évidence le rôle de l'eau en tant que connecteur du climat (et du développement) régional (ONU-Eau, 2019).

En l'absence d'une expansion significative des approches régionales de la lutte contre les problèmes liés à l'eau liés au climat, il ne sera pas possible de réaliser les objectifs interdépendants de l'Accord de Paris, du Cadre de Sendai et du Programme 2030.

Without a significant expansion of regional approaches to tackling climate-related water challenges, the interlinked goals of the Paris Agreement, the Sendai Framework and the 2030 Agenda will not be achieved.

PNUD | Marianne Kjellén

SIWI | Maggie White

Avec les contributions de : John Matthews, Alex Mauroner and Ingrid Timboe (AGWA) ; Stefano Burchi (AIDA) ; Neil Dhot et Thomas van Waeyenberge (Aquafed) ; Yasmina Rais El Fenni (Cap-Net PNUD) ; Anjali Lohani et Joshua Newton (GWP) ; Yoshiyuki Imamura et Mamoru Miyamoto (ICHARM) ; Eddy Moors, Vanessa Guedes de Oliveira et Susanne Schmeier (IHE Delft) ; Carlos Carrión Crespo et Maria Teresa Gutierrez (BIT) ; Rebecca Welling (UICN) ; Diana Suhardiman (IWMI) ; Rio Hada et Madoka Saji (HCDH) ; Alejandro Jimenez, Birgitta Liss Lymer, Panchali Saikia et Ruth Mathews (SIWI) ; Francesca Bernardini et Sonja Koepfel (CEE) ; Alice Aureli et Tales Carvalho Resende (UNESCO-PHI) ; Tamara Avellán, Angela Hahn, Stephan Hülsmann et Sabrina Julie Kirschke (UNU-FLORES) ; Duminda Perera (UNU-INWEH) ; Amanda Loeffen et Rakia Turner (WaterLex) ; Lesley Pories (Water.org) ; et Lindsey Aldaco-Manner, Bassel Daher, Sebastien Willemart et Juliane Schillinger (WYPW)

Ce chapitre présente les moyens juridiques, institutionnels et politiques de soutenir l'adaptation aux changements climatiques et leur atténuation, d'améliorer la résilience et de réduire la vulnérabilité grâce à une gestion de l'eau plus inclusive, en particulier au niveau des pays.

11.1 Introduction

Le présent chapitre souligne l'importance d'une bonne gouvernance et d'une gestion des ressources en eau plus juste et plus inclusive face aux pressions croissantes des changements climatiques. Étant donné que les sécheresses se prolongent et que l'eau se raréfie, les solutions techniques et l'augmentation de l'offre peuvent s'avérer insuffisantes. Il faut plutôt favoriser une utilisation (et une réutilisation) plus efficace de l'eau et des processus plus équitables de partage des bénéfices de son utilisation par des approches participatives, justes et transparentes. Le chapitre souligne l'importance de :

- La volonté politique, le leadership et l'action – qui pourraient s'intensifier dans le domaine du climat, notamment grâce à l'action de la jeunesse mondiale.
- La nature transversale de l'eau et du climat à travers toute l'économie. Les concessions réciproques et les conflits d'intérêts doivent être abordés à tous les niveaux pour négocier des solutions entre les secteurs. L'intégration et la coordination des politiques devront peut-être être centralisées.
- La participation et la transparence peuvent contribuer à l'inclusion et à la légitimité de la prise de décisions en permettant de faire intervenir différentes perspectives. Des accords plus larges permettent l'adhésion nécessaire pour une mise en œuvre plus efficace et une action collective vers les objectifs souhaités.
- La pauvreté et l'inégalité exacerbent la vulnérabilité aux chocs et aux facteurs de stress, notamment les crises de l'eau liées au climat. Une plus grande égalité dans l'action sur l'eau/le climat (et plus généralement) contribue non seulement à réduire la pauvreté, mais aussi à renforcer la résilience aux effets du changement climatique ainsi qu'aux crises quotidiennes.

11.2 Intégrer les préoccupations relatives aux changements climatiques dans la gestion de l'eau

L'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs impacts doivent tenir compte des interactions de plus en plus complexes entre l'énergie, les terres, l'eau et la biodiversité (GIEC, 2014d), ce qui ajoute une difficulté supplémentaire au domaine de la gestion des ressources en eau. L'amélioration des effets des changements climatiques par la gestion de l'eau implique également la politique, car il y a de nombreuses concessions réciproques et des intérêts souvent contradictoires concernant la gestion des ressources.

11.2.1 Gouvernance de l'eau intégrée et inclusive

L'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets, comme la gestion de l'eau, exigent des actions sur le terrain. La qualité et l'orientation de l'action sont déterminées par les règles et les relations sociales, c'est-à-dire le cadre de gouvernance. La gouvernance de l'eau détermine « *qui reçoit l'eau, quand et en quelle quantité* » (PNUD-SIWI WGF, 2015, p. 4 ; Iza et Stein, 2009).

Il est clair depuis longtemps que les gouvernements ne peuvent pas assumer seuls la pleine responsabilité de « fournir » des services d'eau à tous, en particulier dans les milieux à faible revenu (Franks et Cleaver, 2007 ; Jiménez et Pérez-Foguet, 2010), et qu'une approche plus large de « l'ensemble de la société » est nécessaire. Bien que les gouvernements sont les principaux moteurs de l'élaboration des politiques et de la réglementation, la fourniture effective des services d'eau par des acteurs non étatiques est à la hausse (Finger et Allouche, 2002 ; Kjellén, 2006). Cette tendance a motivé l'utilisation du terme « gouvernance » plutôt que « gouvernement ». La concurrence croissante pour les ressources en eau renforce également l'importance de la gouvernance dans la gestion et la réutilisation de l'eau (Niasse, 2017). Avec la concurrence croissante et la pression qui en résulte sur les ressources en eau, la manière dont l'eau est allouée dans la société mérite d'être « renégociée ». Selon Hall et al. (2014), l'adaptation à la variabilité hydrologique implique des questions d'institutions, d'infrastructure et d'information. Il faut des institutions pour entreprendre la planification et l'élaboration d'instruments juridiques et économiques pour gérer et partager les risques.

La gestion du climat et de l'eau nécessite des mécanismes de surveillance et de coordination. Bien que cela ne soit pas facile, il est important, que ces organes gardent une vue d'ensemble afin d'assurer l'intégration nécessaire des questions et la coordination entre les acteurs. La fragmentation sectorielle et la concurrence bureaucratique peuvent poser de sérieux problèmes pour l'intégration entre les niveaux (Koch et al., 2006 ; Lebel et al., 2011). Cela nécessite : i) une plus grande participation du public pour discuter et gérer les risques climatiques ; ii) le renforcement des capacités d'adaptation à de multiples niveaux (voir par exemple Cap-Net PNUE/UNITAR/REDICA/OMM/ONU Environnement-DHI/IHE-Delft, 2018) ; et 3) la priorisation de la réduction des risques pour les groupes socialement vulnérables (voir la dernière section de ce chapitre) (Tompkins et Adger, 2005 ; Oliveira, 2009 ; Lebel et al., 2011 ; Ayers et al., 2014 ; Coirolo et Rahman, 2014).

Pour les autorités nationales et locales, pour gérer les ressources en eau de manière à favoriser la résilience aux changements climatiques, il est essentiel d'améliorer la gouvernance. La bonne gouvernance implique l'adhésion aux principes des droits de l'homme, notamment l'efficacité, la réactivité et la responsabilité ; l'ouverture et la transparence ; la participation à l'exercice des principales fonctions de gouvernance relatives aux politiques et aux arrangements institutionnels ; la planification et la coordination ; et la réglementation et l'octroi de licences (CEE-ONU, 1998 ; OCDE, 2015). Pour la prise en compte des éléments principaux, la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) prévoit un processus pour impliquer les parties prenantes à travers la société, l'économie et l'environnement (Cap-Net PNUE/UNITAR/REDICA/OMM/ONU Environnement-DHI/IHE-Delft, 2018).

11.2.2 Gestion intégrée des ressources en eau pour la résilience aux changements climatiques

L'appel à la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans la cible 6.5 du Programme de développement durable à l'horizon 2030 est une reconnaissance que l'eau concerne tous les secteurs de la société. Avec la concurrence croissante pour l'eau disponible, et l'imprévisibilité et la variabilité supplémentaires provoquées par les changements climatiques, le processus de GIRE pour l'allocation et l'efficacité de l'utilisation de l'eau devient plus aigu que jamais. Pourtant, il n'existe pas de solution magique et la fragmentation sectorielle n'est pas facile à surmonter (Smith et Jønch Clausen, s.d.). Totalement en accord avec la tendance sociétale plus large des gouvernements (seuls) vers la gouvernance (incluant tous les secteurs de la société), la GIRE s'appuie sur des processus impliquant plusieurs intervenants. Cela apporte une diversité de perspectives, ainsi que des idées et des stratégies d'adaptation améliorées et novatrices, même si cela ne résout pas nécessairement les déséquilibres de pouvoir entre les différents intérêts. La participation des parties prenantes est une obligation en matière de droits de l'homme et peut également renforcer la légitimité du processus et des choix qui en résultent (Saravanan et al., 2009 ; Schoeman et al., 2014). L'intégration du genre – partie intégrante de la GIRE – est également susceptible d'améliorer ses processus et ses résultats. Comme indiqué ci-dessous, les processus climatiques reposent aussi de plus en plus sur la participation et les revendications des jeunes.

Selon Butterworth et al. (2010), la résolution de problèmes pratiques peut être un point de départ utile pour la GIRE. Avec un engagement plus important des acteurs qui ne sont pas forcément des professionnels de l'eau (décideurs en dehors du secteur de l'eau), le potentiel d'engagement fructueux autour de l'atténuation des changements climatiques et de l'adaptation augmente (Smith et Jønch Clausen, s.d. ; 2018). La coopération transfrontalière permet également de partager les coûts et les avantages de l'adaptation et d'accroître l'efficacité et l'efficacité globales de l'adaptation dans un bassin hydrographique (CEE/RIOB, 2015).

11.2.3 Relier la politique de l'eau et les changements climatiques au niveau des pays

Les contributions déterminées au niveau national (CDN) sont au cœur de l'Accord de Paris comme moyen d'atteindre ses objectifs à long terme (section 2.1.2). Les CDN incarnent les efforts déployés par chaque pays pour réduire les émissions et s'adapter aux effets des changements climatiques. Toutes les Parties sont invitées à soumettre la prochaine série de CDN (nouveaux, actualisés ou renforcés) d'ici 2020 et tous les cinq ans par la suite.

En 2019, une analyse réalisée conjointement par le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a permis de mesurer les progrès réalisés par les pays dans la mise en place des architectures de gouvernance nécessaires à la mise en œuvre réussie des mesures d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation à ces effets. Près de 90 % des pays étudiés avaient mis en place un mécanisme de coordination. Dans 80 % des pays, un mécanisme de gouvernance était en place pour coordonner et faire participer les parties non gouvernementales de la société. En outre, les politiques climatiques, traditionnellement supervisées par les ministères de l'Environnement qui ont souvent un pouvoir limité, se déplacent de plus en plus vers des niveaux institutionnels plus centraux et concentrant plus d'influence. Alors que 60 % de la coordination visant à orienter la mise en œuvre des CDN relève des ministères de l'Environnement ou de la gestion des ressources naturelles, plus d'un tiers des pays étudiés avaient une mise en œuvre des CDN coordonnée par le Cabinet ou le Bureau du Président ou du Premier ministre (PNUD/CCNUCC, 2019) (figure 11.1).

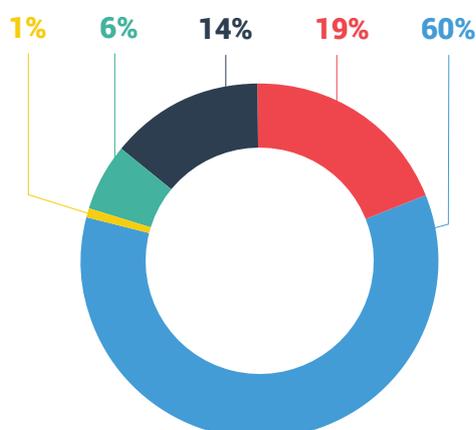
La synthèse de la CCNUCC de 2016 sur l'effet global des 161 contributions déterminées au niveau national (CDN³⁵) prévues a mis en évidence le lien entre les changements climatiques et les priorités de développement. Il s'agit notamment de « *mesures d'adaptation avec des avantages connexes d'atténuation* » sur la gestion intégrée des ressources en eau, comme la protection des bassins hydrographique versants, la gestion des déchets et des eaux pluviales, la conservation, le recyclage et le dessalement de l'eau (CCNUCC, 2016, p. 75), l'eau devenant un domaine de pointe pour les mesures d'adaptation (voir figure 2.3). Les divers types d'actions liés à la protection des ressources en eau étant inclus dans les composantes de l'adaptation, cela montre que la « *sécurité hydrique* » est une priorité de développement essentielle pour la plupart des Parties (CCNUCC, 2016).

Figure 11.1 Emplacement du mécanisme de coordination identifiés dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)

Points de coordination

Pourcentage de pays

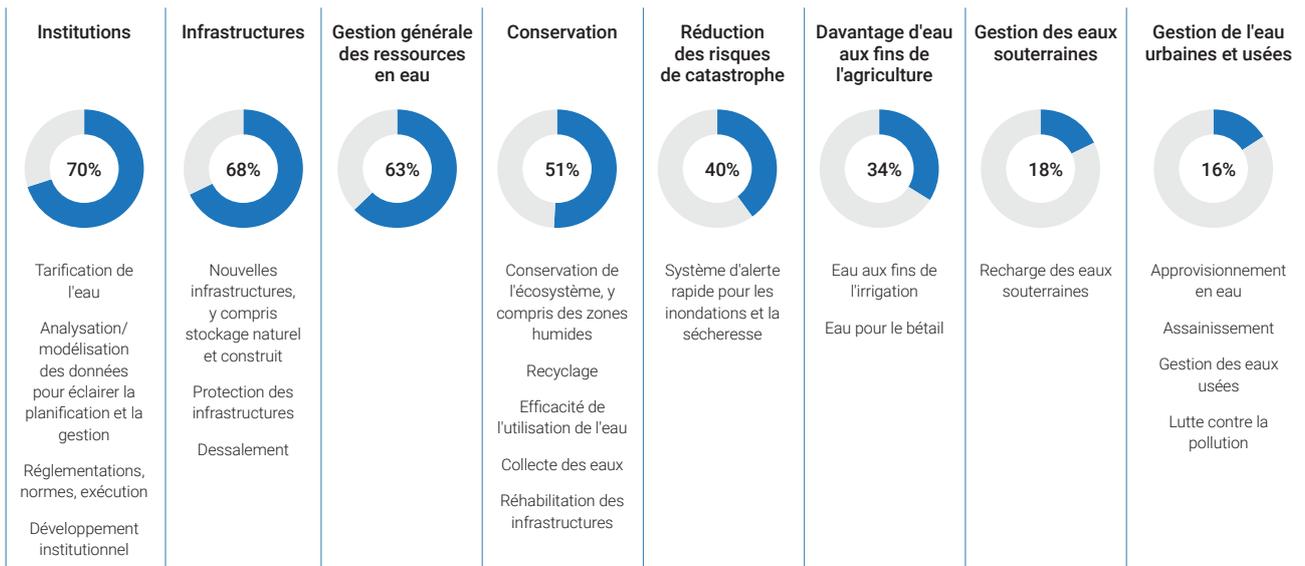
- Cabinet du Conseil des ministres
- Ministère de l'environnement, de la gestion des ressources naturelles et du développement durable
- Ministère des finances ou de l'économie
- Ministère des affaires étrangères
- Bureau du Président ou du Premier Ministre



Source : PNUD/CCNUCC (2019, p. 27).

³⁵ Les contributions prévues déterminées au niveau national (INDC) ont été converties en CDN lors de la ratification de l'Accord de Paris.

Figure 11.2 Actions prioritaires dans le domaine de l'eau pour adaptation identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)



Source : GWP (2018b, fig. 4, p. 5).

Alors que les deux tiers des pays décrivent un portefeuille général de projets d'eau dans leurs INDC, seul un sur dix cite ce que l'on pourrait appeler une proposition de projet détaillée, et ces projets sont issus soit des processus de planification de l'eau domestique, soit de propositions de financement antérieures sur le climat (Hedger et Nakhouda, 2015). Une enquête récente sur les CDN de 80 pays du point de vue de l'eau a montré que plus de 70 % des actions individuelles prévues pour l'adaptation concernaient une forme quelconque d'instrument de gestion ou de gouvernance, tandis que 63 % faisaient état de la nécessité d'une gestion générale des ressources en eau (GWP, 2018) (figure 11.2). Le rapport a également constaté que les options « sans regret », c'est-à-dire les mesures qui ont un sens en soi indépendamment des régimes météorologiques futurs, pourraient être étudiées plus en profondeur.

Plus généralement, pour que les pays puissent mettre en œuvre les engagements pris au niveau international, il est essentiel d'adopter ou de mettre à jour la législation nationale pour l'aligner sur les engagements internationaux (Burchi, 2019). La réglementation nationale de la mise en valeur, de l'utilisation, de la conservation et de la protection des ressources en eau constitue le pilier fondamental de la gouvernance de l'eau et le principal instrument de mise en œuvre des CDN dans le cadre de l'Accord de Paris.

Le processus par étapes du PANA, tel que décrit dans le manuel sur l'adaptation aux changements climatiques et la GIRE (Cap-Net PNUD/UNITAR/REDICA/OMM/ONU Environnement–DHI/IHE-Delft, 2018, p. 45), prend en compte les stratégies d'adaptation existantes au niveau de la base et s'en inspire pour identifier les activités prioritaires, plutôt que de se concentrer sur la modélisation basée sur des scénarios pour évaluer la vulnérabilité future et la politique à long terme au niveau des États. Les PANA devraient également comprendre de brefs profils de projets ou d'activités visant à répondre aux besoins d'adaptation les plus urgents et les plus immédiats des PMA parties à la Convention-cadre sur le climat (McGray et al., 2007).

La planification à plus long terme par le biais des PNA est soutenue par le supplément sur l'eau du PNA récemment mis à jour. Elle considère l'eau comme un moyen d'atteindre une fin : un apport essentiel au développement économique, à la sécurité des moyens de subsistance et à la durabilité de l'environnement. De même, elle considère les ressources en eau au sens large, pour inclure l'approvisionnement en eau ainsi que tous les secteurs liés à l'eau tels que l'agriculture, l'énergie, les transports, la santé publique et la gestion des risques de catastrophe (GWP, 2019b). Plus de 90 pays en développement en sont à divers stades de préparation de leur PNA et 13 ont officiellement présenté le leur (PNUD/CCNUCC, 2019). La CCNUCC (s.d.b) suggère que le processus du PNA devrait être « *continu, progressif et itératif* » et suivre une « *approche impulsée par les pays, qui tient compte des disparités entre les sexes, participative et totalement transparente* ».

11.3 Participation du public à l'établissement du programme, à la prise de décisions et au suivi

Les changements climatiques modifient fondamentalement la façon dont l'eau doit être gérée.

Traditionnellement, les gestionnaires de l'eau ont fait des prévisions sur la disponibilité future de l'eau en se fondant sur les tendances historiques de l'eau, mais comme le réchauffement des températures touche tous les aspects du cycle hydrologique (Rodell et al., 2018), les données de référence historiques ne sont souvent plus un indicateur fiable de la disponibilité de l'eau (Milly et al., 2008).

Même avec des modèles de plus en plus sophistiqués, les impacts climatiques ne peuvent être prévus avec confiance au niveau du bassin fluvial, du lac ou de l'aquifère. Ce nouveau niveau ou profondeur d'incertitude souligne que la planification ne peut pas être traitée comme une solution technique ou comme une équation à résoudre. En effet, la recherche sur la gouvernance de l'eau a mis en évidence le rôle important de la participation pour aborder les questions complexes liées à l'eau (Von Korff et al., 2010 ; Bryson et al., 2012 ; Kirschke et Newig, 2017). Comme nous l'avons souligné ci-dessus, en raison du changement de paradigme du gouvernement à la gouvernance, la prise de décisions n'est plus l'apanage des seuls experts en gestion de l'eau ou des ressources naturelles. Établissant un lien entre les droits environnementaux et les droits de l'homme, le principe 10 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement (AGNU, 1992) souligne la nécessité de la participation des citoyens aux questions environnementales. Ce principe énonce trois droits fondamentaux : l'accès à l'information, l'accès à la participation du public et l'accès à la justice, en tant que piliers essentiels d'une bonne gouvernance environnementale.

Encadré 11.1 Programme d'action national d'adaptation pour la sécurité de l'eau au niveau local au Bhoutan

Les vulnérabilités et les difficultés auxquelles sont confrontées les communautés locales au Bhoutan sont encore aggravées par les menaces d'origine climatique, qui vont des crues soudaines et des glissements de terrain aux incendies de forêt et aux pénuries d'eau saisonnières. En raison des rôles traditionnels des hommes et des femmes, le fardeau de l'eau qui devient plus rare et plus difficile d'accès incombe de façon disproportionnée aux femmes.



Photo : © Sonam Phuntsho/PNUD Bhoutan (2018).

Dans le but de trouver des solutions durables, le Gouvernement bhoutanais, avec l'appui du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), a élaboré et révisé le Programme d'action national d'adaptation du pays pour y intégrer les nouveaux risques émergents. Grâce au financement du Fonds pour l'environnement mondial – Fonds pour les pays les moins avancés (FEM-FPMA), les projets d'adaptation aux changements climatiques ont permis aux communautés locales/indigènes de renforcer leur résilience. L'amélioration de l'accès à l'eau courante et la construction d'unités de stockage de l'eau à base de béton ont renforcé la sécurité de l'eau. La formation de groupes d'utilisateurs de l'eau a également renforcé la capacité des communautés à protéger les sources d'eau, tout en améliorant les liens communautaires.

Le Bhoutan accorde la priorité à la planification à long terme de l'adaptation aux changements climatiques dans le but d'obtenir des données plus solides et des arguments plus convaincants en faveur de l'investissement dans l'intensification de l'adaptation.

Source : Extrait de Phuntsho et al. (2019).

Outre la base scientifique que toutes les approches de gestion des risques et des écosystèmes devraient avoir, la gestion résiliente de l'eau et la GIRE sont également fermement ancrées dans l'approche multipartite, impliquant les citoyens, le secteur privé et la société civile dans le processus de gouvernance de l'eau (Saravanan et al., 2009 ; Schoeman et al., 2014). Une plus grande participation du public à la gestion des risques climatiques est suggérée comme moyen de renforcer les capacités d'adaptation à plusieurs niveaux, d'éviter les pièges institutionnels et de donner la priorité à la réduction des risques pour les groupes socialement vulnérables (Ayers et al., 2014 ; Coirolo et Rahman, 2014 ; Lebl et al. 2011 ; Oliveira, 2009 ; Tompkins et Adger, 2005). Cela nécessite l'intégration d'une approche ascendante dans les processus de planification des bassins fluviaux afin de garantir la prise en compte des divers points de vue des communautés sur les risques climatiques et l'adaptation à ces risques, ainsi que des liens avec la création de revenus et les moyens de subsistance. En même temps, les informations et les données scientifiques doivent également être mises à disposition au niveau local et incluses en tant qu'informations dans les processus décisionnels locaux multipartites.

Alors que des actions se déroulent partout dans le monde pour initier des changements de politique et pousser à l'action, les jeunes générations commencent à changer de discours

Les nouveaux moyens de communication facilités par les technologies de l'information et les médias sociaux ont permis aux citoyens de recueillir et de conserver des informations (chapitre 13), jouant ainsi le rôle de chien de garde vis-à-vis de leurs décideurs. Ce canal de communication relativement nouveau a également permis une « science citoyenne » avec la production et le partage de connaissances. La science citoyenne fait généralement référence à la participation des citoyens à des projets scientifiques, principalement à la production de données (Conrad et Hilchey, 2011 ; Jollymore et al., 2017). Parmi les exemples récents, mentionnons l'évaluation des variétés de cultures in situ à l'aide des sciences participatives, l'attribution de petites tâches expérimentales à des agriculteurs bénévoles du monde entier (Van Etten et al., 2019) ou l'utilisation de téléphones cellulaires pour conserver l'information sur l'emplacement, la fonctionnalité et la qualité des points d'eau. Cependant, la collecte participative de données scientifiquement valables sur la qualité de l'eau est un processus difficile, qui exige un financement, une formation, une motivation et une rétroaction aux citoyens (Conrad et Hilchey, 2011 ; Jollymore et al., 2017 ; Kim et al., 2018).

Si les gouvernements restent responsables de la direction des mesures nationales d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques ainsi que de la gouvernance de l'eau, le processus de changement est toujours coproduit. Conformément au concept de gouvernance, ceux qui dirigent ou stimulent l'action, les « *agents de changement* », peuvent venir de nombreux endroits différents – ils peuvent être au sein du gouvernement ou dans d'autres secteurs. La section suivante met en évidence les initiatives prises par divers groupes, comme les jeunes, les villes, le secteur privé et les peuples autochtones, qui, de différentes manières, peuvent contribuer à conduire ou à coproduire le processus d'adaptation aux changements climatiques ou d'atténuation de leurs effets, parfois en tant que précurseurs.

11.3.1 Agents de changement

De nombreux éléments indiquent que les jeunes sont de plus en plus préoccupés par les changements climatiques. Alors que des actions se déroulent partout dans le monde pour initier des changements de politique et pousser à l'action, les jeunes générations commencent à changer de discours. En mars 2019, la Global Youth Strike for Climate Change a été menée par des étudiants du monde entier qui, mobilisés par le biais des médias sociaux, séchaient les cours pour protester contre l'inaction des gouvernements face au réchauffement climatique. Les manifestations ont été parmi les plus grandes actions internationales à ce jour, impliquant environ 1,4 million d'étudiants et de jeunes adultes dans plus de 120 pays (Leach, 2019), poussant les décideurs à réagir. Lors du Sommet de l'ONU sur l'action climatique en septembre 2019, des jeunes et des adultes ont quitté les écoles et les lieux de travail dans plus de 150 pays pour se joindre à la manifestation

des « Vendredis pour le climat futur ». Initié par Greta Thunberg³⁶, une adolescente suédoise, le mouvement est devenu mondial. Par exemple, pendant la Semaine africaine du climat à Accra, en mars 2019, plusieurs groupes de jeunes, venus de toute l'Afrique, sous la direction du Ghana Youth Environment Movement, ont défilé pacifiquement dans les rues jusqu'au centre de conférence où des dirigeants gouvernementaux et des décideurs politiques ont participé à des discussions. Le message des jeunes sur les pancartes était simple : il y a déjà eu tellement de discussions et le temps est venu d'agir contre les changements climatiques.

Les jeunes sont également mobilisés et soutenus par plusieurs réseaux centrés sur l'eau, tels que le Parlement mondial de la Jeunesse pour l'eau, le Réseau des jeunes pour l'eau et Young Water Solutions. Beaucoup essaient de jumeler les initiatives locales avec la sensibilisation et les recommandations politiques.

Les villes sont également devenues des précurseurs de l'action climatique dans de nombreux pays. Il existe plusieurs réseaux ou initiatives qui incitent leurs membres à agir, comme ICLEI – Local Governments for Sustainability, le réseau C40 des mégapoles engagées dans la lutte contre les changements climatiques, et les 100 villes résilientes, dont la Fondation Rockefeller a été la pionnière. Une part importante de l'action semble être sous-tendue par une meilleure connaissance : un examen de plus de 2 000 bassins hydrographiques versants et de 530 villes par McDonald et Shemie (2014) a révélé que les villes qui avaient effectué des évaluations des risques liés à l'eau étaient beaucoup plus susceptibles de prendre des mesures, le type de mesure le plus courant étant de réduire les fuites dans l'approvisionnement en eau. Cela est perceptible dans le récent classement des villes les plus performantes en matière d'action environnementale établi par le Carbon Disclosure Project-Disclosure Insight Action (CDP, s.d.). Parmi les exemples d'actions, on peut citer la réparation des fuites d'eau pour lutter contre la sécheresse, qui a été le point de mire de Taipei, la province chinoise de Taiwan (Scott, 2019). Étant donné que les changements climatiques révèlent les menaces sous-jacentes qui pèsent sur l'eau urbaine, il devient urgent pour les villes de prendre ce genre de mesures salutaires (Kjellén, 2019).

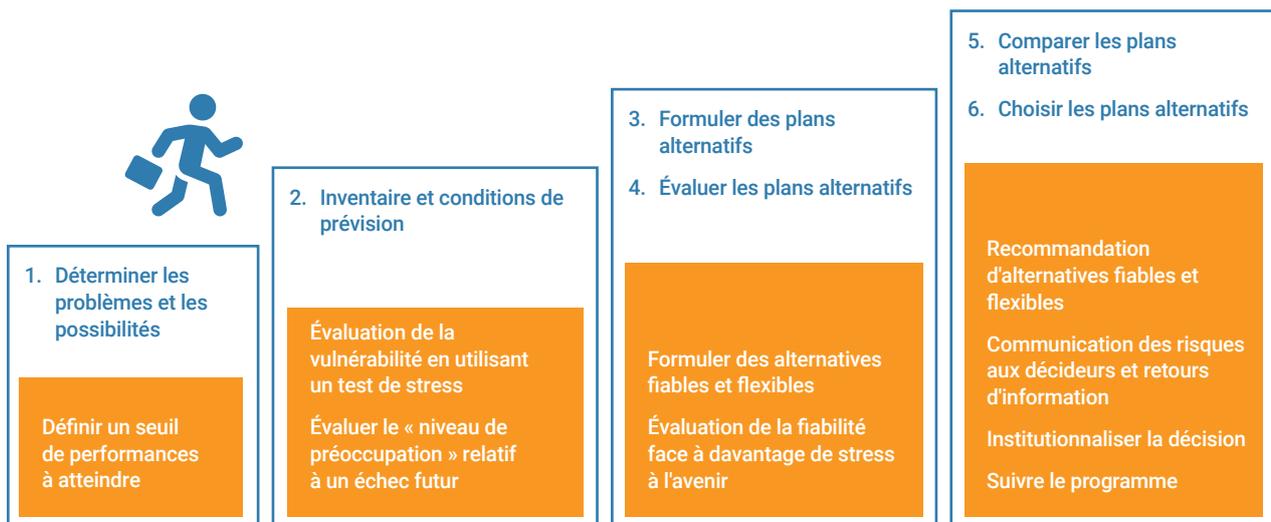
De plus, les grandes entreprises se sont engagées à réduire leur empreinte eau et leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) afin de s'attaquer à leur contribution au stress hydrique et aux changements climatiques (chapitre 7). En ce qui concerne la manipulation de l'eau par les entreprises, le Rapport mondial sur l'eau 2018 du CDP a constaté que malgré une plus grande sensibilisation aux risques liés à l'eau et aux objectifs de réduction des prélèvements d'eau, les prélèvements autodéclarés ont augmenté considérablement ces dernières années, surtout dans les entreprises des secteurs de l'alimentation, des boissons, de l'agriculture, de la fabrication et de l'extraction de minéraux en Asie et en Amérique latine (CDP, 2018).

Au Royaume-Uni, les compagnies des eaux, les organismes de réglementation, les universitaires et les organisations non gouvernementales (ONG) ont travaillé ensemble pour créer un cadre de planification à long terme des ressources en eau. Dans les 50 ans à venir, les résultats suggèrent que l'Angleterre et le Pays de Galles pourraient être confrontés à des sécheresses plus longues, plus fréquentes et plus graves que ce que l'on pensait auparavant. Cette étude a conduit à une approche plus stratégique de la sécurisation des approvisionnements en eau en équilibrant l'amélioration des infrastructures d'approvisionnement et la gestion de la demande (Water UK, 2016).

Si la plupart des secteurs de la société doivent se réorienter face aux changements climatiques, les peuples autochtones, qui ont souvent vécu dans des environnements marginaux et difficiles, appliquent déjà ce que l'on pourrait appeler des stratégies d'atténuation et d'adaptation dans le cadre de la gestion des ressources naturelles ancestrales ou traditionnelles. Les peuples autochtones ont une expérience éprouvée et des connaissances précieuses qui pourraient être utilisées

³⁶ « Depuis plus de 30 ans, la science est sans ambiguïté. Comment osez-vous continuer à détourner le regard et venir ici en disant que vous en faites assez, alors que la politique et les solutions nécessaires ne sont toujours pas en vue... Et si vous choisissez de nous laisser tomber, je vous dis que nous ne vous pardonnerons jamais. Nous ne vous laisserons pas vous en tirer ainsi. C'est ici, maintenant, que nous fixons la limite. Le monde se réveille. Et le changement arrive, que ça vous plaise ou non. » – Greta Thunberg, s'exprimant lors du Sommet de l'ONU sur l'action climatique de 2019 (Thunberg, G. 2019).

Figure 11.3 Tâches liées à l'analyse des décisions éclairées en rapport avec les risques climatiques dans un cadre de planification type



Note: Blue boxes show widespread planning framework steps; orange boxes show CRIDA steps.

Source : Mendoza et al. (2018, fig. 01, p. 30).

pour l'adaptation au réchauffement de la planète et son atténuation. Il s'agit notamment des réponses traditionnelles à la sécheresse et à d'autres catastrophes, ou de la fixation du carbone (par exemple, la préservation des forêts) (Kelles-Viitanen, 2018). Chanza et De Wit (2016) et beaucoup d'autres suggèrent que les connaissances autochtones doivent être beaucoup plus efficacement intégrées dans la gouvernance du climat.

11.3.2 Prise de décisions dans l'incertitude

La « gestion adaptative » est un processus structuré de prise de décisions face à l'incertitude, visant à gérer l'incertitude dans la gestion des ressources naturelles et des écosystèmes (Allen et Stankey, 2009 ; Holling, 1978). Il est de plus en plus appliqué à la gestion des ressources en eau (Pahl-Wostl et al., 2010 ; Schoeman et al., 2014). Bien que la gouvernance et la prise de décisions dans des conditions d'incertitude ne soient pas nouvelles, les changements climatiques présentent un nouveau spectre d'incertitudes : une « incertitude profonde » plutôt que des « risques connus » (Banque mondiale, 2016a). Il est essentiel de maintenir la souplesse des dispositions et des cadres de gouvernance au fil du temps pour faire face aux niveaux élevés d'incertitude climatique.

L'un des moyens de faire face à l'incertitude est de donner la priorité aux mesures « sans regret », c'est-à-dire d'appliquer des politiques et de prendre des mesures qui ont un sens en soi. Cela comprend des mesures visant à accroître l'efficacité, comme la réparation des fuites dans les systèmes urbains et la garantie que l'eau des systèmes d'irrigation atteint effectivement les cultures. Ces mesures contribuent à réduire les déchets et à économiser les ressources, indépendamment des changements climatiques ou des conditions météorologiques futures.

Les approches d'évaluation des risques « ascendantes » constituent une nouvelle génération de méthodes permettant d'aborder la prise de décisions en cas d'incertitude. Elles sont conçues pour assurer une prise de décisions solide, adaptée au contexte et souple en matière de gestion de l'eau (Brown et al., 2011 ; Wilby, 2011 ; Haasnoot et al., 2015). Elles mettent fortement l'accent sur la prévention de l'échec chronique de la performance du système (Mendoza et al., 2018). L'implication précoce des parties prenantes est essentielle pour trouver des solutions et des réponses politiques plus complètes, qui sont en fin de compte plus faciles à mettre en œuvre et mieux reçues (OCDE, 2015), en veillant à ce que les contextes locaux soient pleinement intégrés dans le processus. Un exemple est l'analyse par étapes de la prise de décisions éclairée par les risques climatiques (CRIDA) (figure 11.3) (Mendoza et al., 2018).

L'intégration et l'analyse des données sont importantes et doivent être renforcées afin d'aider à réduire les risques et les impacts des catastrophes liées à l'eau, notamment les inondations, les glissements de terrain et les sécheresses, dont la prévision repose largement sur la science et la technologie pour les alertes rapides. En outre, les données hydrologiques doivent être intégrées aux analyses sociales et économiques, car le comportement et la résilience dépendent largement de qui a accès aux différentes ressources et les contrôle (2030 WRG/PNUD, 2019).

Un exemple d'approches transdisciplinaires reliant la science et la technologie à la société est la création de la Plateforme sur la résilience de l'eau et les catastrophes, un projet mondial promu par l'Initiative internationale sur les inondations³⁷. Le portail de données ODD 6 d'ONU-Eau³⁸ et l'Aqueduct Water Risk Atlas³⁹, un outil mondial de cartographie des risques liés à l'eau qui aide les entreprises, les investisseurs, les gouvernements et d'autres utilisateurs à comprendre où et comment les risques et les possibilités liés à l'eau apparaissent dans le monde entier, constituent des efforts supplémentaires pour améliorer l'accessibilité des informations sociétales relatives à l'eau.

11.4 Réduire la vulnérabilité et renforcer la résilience en luttant contre la pauvreté et l'inégalité

Les changements climatiques ont des répercussions différentes sur les pays et les populations locales, selon leur richesse, leur statut social et d'autres facteurs qui influent sur leur capacité d'adaptation (Eakin et Luers, 2006 ; PNUD, 2019). Les stratégies doivent faire la distinction entre les différents groupes et strates sociaux, et accorder une attention particulière à ceux qui sont déjà marginalisés (Mobjörk et al., 2016). En fait, les événements de crise soudains ou progressifs ont tendance à renforcer les vulnérabilités, l'exposition et les inégalités déjà existantes (Schaar, 2018).

La pauvreté, la discrimination et la vulnérabilité sont étroitement liées et se recoupent généralement. Les femmes et les filles appartenant à des groupes ethniques minoritaires, à des régions éloignées ou défavorisées peuvent souffrir de multiples formes d'exclusion et d'oppression. Lorsque des catastrophes surviennent, ces inégalités peuvent s'aggraver et les pauvres sont plus susceptibles d'être touchés. Les pauvres sont également plus susceptibles de perdre relativement plus que ceux qui ne sont pas pauvres (Hallegatte et al., 2016⁴⁰), car les dimensions de genre et de pouvoir ont une influence sur les réponses aux catastrophes. Par exemple, des études sur le genre au Bhoutan ont constaté que les systèmes d'alerte précoce ne parviennent pas clairement aux femmes, en partie à cause des normes culturelles qui limitent leur liberté de mouvement et leur autonomie de décision, devant attendre la permission des hommes avant d'évacuer (Shrestha et al., 2016 ; Davison, 2017). Dans d'autres contextes, la réussite de l'évacuation peut être affectée par des facteurs tels que l'accès à un véhicule.

L'existence culturelle et géographique des peuples autochtones à travers les périodes et tout au long de la colonisation les place souvent dans des situations antagonistes avec les acteurs politiques et économiques dominants et le courant dominant de la société et de la politique (WWAP, 2019). Leur histoire peut induire la discrimination. Les peuples autochtones sont souvent négligés dans les décisions relatives à la répartition de l'eau et peuvent être marginalisés dans les systèmes conventionnels de gestion de l'eau et touchés de façon disproportionnée par les conflits liés à l'eau (Barber et Jackson, 2014). Ils ont souvent des liens culturels étroits avec leurs écosystèmes et dépendent pour leur subsistance de ressources naturelles renouvelables qui sont menacées par la variabilité et les extrêmes climatiques (OIT, 2017).

³⁷ www.ifi-home.info.

³⁸ www.sdg6data.org/.

³⁹ www.wri.org/our-work/project/aqueduct/about.

⁴⁰ Hallegatte et al. (2016) ont constaté que des facteurs, tels que les faibles taux d'alphabétisation, les taux de dépendance élevés et les structures de logement faibles, augmentent la vulnérabilité des personnes touchées par la sécheresse dans l'Inde rurale, tandis que des facteurs comme l'accès aux réseaux sociaux et aux services de base tels que l'eau et l'assainissement, la santé et l'éducation joueraient un rôle important dans la réduction de cette vulnérabilité.

L'adoption d'une approche du développement fondée sur les droits de l'homme peut également contribuer à la justice climatique en ce qui concerne l'eau. De telles approches sont au cœur de la bonne gouvernance, offrant aux parties prenantes concernées la possibilité d'exprimer leurs intérêts et d'influencer l'ordre du jour et les résultats des discussions. L'approche fondée sur les droits de l'homme fournit des mécanismes pour garantir que toutes les personnes sont associées au processus de communication et peuvent participer à la lutte collective contre les causes profondes de la vulnérabilité (Cap-Net PNUD/WaterLex/PNUD-SIWI GWF/Radica, 2017 ; Cap-Net PNUD/UNITAR/REDICA/OMM/ONU Environnement–DHI/IHE-Delft, 2018). Le développement, la gestion de l'eau et la vulnérabilité aux changements climatiques sont tous liés, et « *des politiques prudentes de gestion de l'eau peuvent faire beaucoup pour assurer la croissance, en rendant les gens plus riches et donc plus résistants au stress lié aux changements climatiques* » (Banque mondiale, 2016a, p. 14). La création de richesses parmi ceux qui en ont besoin peut contribuer à réduire la vulnérabilité générale de la société, y compris les effets des changements climatiques liés à l'eau.

Les possessions des pauvres, par exemple, leur maison, leurs animaux ou leurs récoltes, résistent moins bien aux effets d'une catastrophe. En outre, ils peuvent représenter la totalité de la richesse d'un ménage pauvre, puisque les ménages pauvres sont moins susceptibles d'avoir une épargne financière ou d'avoir accès au crédit. Ces différences d'exposition et de vulnérabilité font que les catastrophes naturelles accroissent les inégalités et peuvent contribuer à un découplage préjudiciable de la croissance économique et de la réduction de la pauvreté (Hallegatte et al., 2016). Les pauvres sont exposés de manière disproportionnée aux risques de changement environnemental, car ils ont tendance à dépendre plus directement des écosystèmes, en s'appuyant par exemple sur l'agriculture pluviale ou la cueillette de plantes et d'animaux sauvages (McGranahan et al., 1999). Si ces circonstances socioéconomiques ne sont pas pleinement prises en compte, les politiques d'adaptation risquent de devenir beaucoup moins efficaces.

Une considération importante pour réduire la vulnérabilité aux risques liés à l'eau induits par le climat est de considérer les risques, les défis, l'exposition et les vulnérabilités dans leur totalité. Wisner et al. (2003, p. 4) critiquent la « séparation artificielle » entre le risque lié aux aléas naturels et les nombreux dangers inhérents à la vie « normale ». Dans cet esprit, l'Agence néerlandaise d'évaluation environnementale PBL (2018) nous rappelle les impacts à l'ampleur variée dus aux différents types de catastrophes et ses conséquences au quotidien. L'accès à une eau et un assainissement En effet, l'exposition constante à une eau et à un assainissement inadéquats tue énormément plus de personnes – principalement des enfants – que les conflits, les tremblements de terre et les épidémies réunis. Cela montre combien il est important de conjuguer les activités de développement et les activités humanitaires, par exemple en associant les moyens de subsistance et les activités de prévention des risques de catastrophes, comme le montre l'encadré 11.2.

La gouvernance de l'eau a un rôle important à jouer dans l'amélioration de la résilience au climat par la réduction de la pauvreté. Les politiques de l'eau qui offrent un meilleur accès à l'eau pour les pauvres contribuent à réduire non seulement la pauvreté et l'inégalité, mais aussi la vulnérabilité, en augmentant la résilience aux changements climatiques. Ces mesures salutaires peuvent être encouragées par une approche inclusive de la gestion du climat et de l'eau, permettant aux voix des groupes défavorisés d'influencer l'agenda et les décisions. La volonté et la détermination politiques sont essentielles pour faire bouger les choses. La participation et la transparence sont essentielles pour garantir que les actions vont dans la bonne direction et contribuent aux objectifs convenus.



Encadré 11.2 Gestion des bassins versants dans le cadre de la réduction des risques de catastrophes – Restauration des pentes des bassins des Gonaïves, Haïti

Au lendemain de l'ouragan Jeanne, en 2004, l'Organisation internationale du Travail (OIT), le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et le Programme alimentaire mondial (PAM) ont collaboré étroitement avec le Gouvernement haïtien à un programme de création d'emplois aux Gonaïves. Le programme a permis de créer des emplois grâce à des activités de protection de l'environnement. Le dialogue social et le développement des capacités institutionnelles des acteurs locaux et communautaires ont contribué à atténuer les effets de l'érosion des terres et de la forte pression démographique sur l'environnement.

Plus de 50 000 ménages ont bénéficié d'activités à forte intensité de main-d'œuvre comme la création de pépinières, la construction de fossés anti-érosifs et le renforcement de ponts. Concrètement, 210 000 plants d'arbres ont été plantés sur des pentes et 630 000 plants de gazon ont été plantés dans des fossés anti-érosion.

Le projet a démontré que l'utilisation de techniques locales basées sur les ressources et la passation de contrats avec la communauté pouvaient prévenir la détérioration supplémentaire des bassins hydrographiques versants érodés. La passation de marchés communautaires a également permis de clarifier les rôles et les responsabilités, d'établir des capacités techniques pour une protection plus large de l'environnement et de promouvoir la coopération entre les travailleurs, les organisations locales et leurs fédérations, les autorités locales et les services techniques régionaux.

Contribution de l'OIT.

12

Financement de l'action climatique : considérations financières et économiques



Vue aérienne d'une station de traitement des eaux usées à Wrocław (Pologne).

Banque mondiale | Shanna Edberg et Diego Juan Rodriguez

Avec les contributions de : Francesca Bernardini, Sonja Koeppel et Hanna Plotnykova (CEE) ; Chiara Christina Colombo et Danielle Gaillard-Picher (WWC) ; Todd Gartner (WRI) ; Amarnath Giriraj (IWMI) ; Merylyn Hedger (ODI) ; Marianne Kjellén (PNUD) ; John Matthews et Alex Mauroner (AGWA) ; et Lesley Pories (Water.org)

Ce chapitre tient compte de l'état actuel des actions relatives au financement de l'eau et du climat, des coûts de l'inaction par rapport aux effets bénéfiques de l'action. Sont également abordés les moyens d'accéder aux flux de financement de l'action climatique pour améliorer la gestion de l'eau ainsi que les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, tout en atténuant et/ou en s'adaptant de manière synergique aux changements climatiques.

12.1 Aperçu général

La gestion des ressources en eau est actuellement sous-financée et nécessite une plus grande attention de la part des gouvernements. Les changements climatiques, tels que décrits dans les chapitres précédents, menacent la gestion des ressources en eau, augmentent le risque d'événements liés aux conditions météorologiques et ont une influence sur la disponibilité et la qualité des services d'eau et d'assainissement dans le monde entier. Cependant, elle présente également une opportunité : celle de tirer parti des mécanismes de financement de l'action climatique pour fournir des fonds supplémentaires afin d'améliorer la gestion de l'eau et, ce faisant, d'améliorer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement par des actions qui atténuent et/ou augmentent également la résilience aux changements climatiques, en fournissant souvent d'autres avantages connexes en même temps.

La gestion des ressources en eau est actuellement sous-financée et nécessite une plus grande attention de la part des gouvernements

L'attention croissante accordée aux changements climatiques au niveau mondial offre une occasion sans précédent de mettre l'eau sous les feux de la rampe dans les efforts de financement du développement durable. Le fait de relier l'eau aux changements climatiques pourrait permettre à la communauté internationale de mobiliser des ressources supplémentaires pour résoudre le vaste chevauchement entre les défis liés au climat et à l'eau, et ainsi améliorer les perspectives d'atteindre les objectifs globaux de gestion de l'eau tels que décrits dans l'Objectif de développement durable (ODD) 6.

12.2 Pourquoi relier le financement de l'eau et du climat

12.2.1 L'état du financement de l'eau

Les niveaux de financement actuels sont insuffisants pour atteindre l'objectif de la communauté internationale d'assurer la disponibilité universelle et de gestion durable de l'eau et de l'assainissement, tel que cela est énoncé dans l'ODD 6. Pour atteindre les deux premières cibles de l'ODD 6 – accès aux services d'eau potable, d'assainissement et d'hygiène (WASH) pour tous d'ici à 2030 – les investissements en capital doivent atteindre 114 milliards de dollars EU par an. C'est environ trois fois le niveau annuel actuel des investissements en capital dans le secteur WASH. Outre les apports de capitaux initiaux, des ressources importantes sont nécessaires pour exploiter et entretenir les infrastructures d'eau et d'assainissement et maintenir la couverture universelle. Ces coûts sont récurrents et dépasseront les coûts en capital de 1,4 à 1,6 fois d'ici à 2029 (Hutton et Varughese, 2016).

Les dépenses susmentionnées ne comprennent pas les cibles 6.3 à 6.6 de l'ODD 6, plus coûteuses et qui l'amélioration de la qualité de l'eau, l'augmentation de la proportion d'eaux usées traitées, l'augmentation de l'efficacité de l'eau, la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau et la protection et la restauration des écosystèmes liés à l'eau. Elle ne tient pas compte non plus explicitement les technologies résilientes aux changements climatiques. Ainsi, à moins que l'on n'augmente de façon significative les niveaux d'investissement dans l'eau, il sera « presque impossible » de réaliser l'ODD 6 (Fonseca et Pories, 2017, p. 8).

12.2.2 L'action préventive est salutaire

Maintenir le statu quo – c'est-à-dire ignorer les risques climatiques et ne pas augmenter les investissements dans l'eau – menacerait clairement les chances d'atteindre les objectifs de l'ODD 6, et aurait également des répercussions plus étendues. Étant donné que l'eau est un facteur de production essentiel dans de nombreux secteurs, la rareté et la vulnérabilité grandissantes des approvisionnements en eau menaceraient les moyens de subsistance dans le monde entier. Les pertes liées à l'eau pourraient envoyer certaines régions « dans une croissance négative soutenue », les taux de croissance de certaines régions risquant de diminuer de 6 % du PIB d'ici à 2050 (Banque mondiale, 2016a, p. vi). Ces changements pèseront le plus sur les ménages pauvres.

Ainsi, lorsque l'on considère le coût du financement des infrastructures de l'eau, il est également nécessaire d'évaluer « le risque contrefactuel du fait de ne pas financer les infrastructures » (CME, 2018, p. 15). Une action préventive pourrait donc avoir un retour sur investissement positif sous la forme de pertes futures évitées (encadré 12.1) tout en améliorant les pratiques actuelles de gestion de l'eau. À cette fin, les gestionnaires de l'eau devront intégrer correctement la planification et la conception des investissements dans les méthodes d'analyse qui permettent de bien identifier les risques et les incertitudes climatiques et non climatiques. Il est donc essentiel de donner la priorité aux stratégies d'adaptation et aux investissements qui permettent de gérer ces risques et ces incertitudes.

12.2.3 Établir un lien entre l'eau et le financement de l'action climatique

Si le financement actuel de l'eau est inadéquat et que l'augmentation du financement de l'eau offre des avantages potentiels considérables, alors que peut-on faire pour accroître l'accès au financement et réaliser ces avantages ? Bien que la gestion de l'eau exige une plus grande attention des sources traditionnelles telles que les fonds publics et les organismes de financement du développement, la réponse peut également consister à ajouter le financement de l'action climatique. La Climate Policy Initiative indique que le financement de la lutte contre les changements climatiques a augmenté ces dernières années, passant de 360 milliards de dollars EU en 2012 à un montant estimé entre 510 et 530 milliards de dollars EU en 2017. Sur les 455 milliards de dollars EU investis en 2016, 11 milliards de dollars EU sont consacrés à la gestion de l'eau et des eaux usées pour l'adaptation aux changements climatiques,

Encadré 12.1 Pertes évitées liées aux inondations au Mexique

L'État mexicain de Tabasco fournit un exemple des pertes qui peuvent être évitées par une action préventive. Lors des pluies torrentielles en 2007, l'État a subi des dommages et des pertes considérables s'élevant à 2,9 milliards de dollars EU. L'inondation qui a suivi a amené le gouvernement fédéral et les gouvernements des États à concevoir un plan hydraulique intégré. L'objectif du plan était de mettre en œuvre un ensemble de solutions garantissant la sécurité de la population, la non-interruption des activités économiques et la stabilité des écosystèmes en cas d'inondation. Les investissements structurels (digues, renforcements) et non structurels (développement de systèmes d'alerte précoce, cartes des risques, renforcement des capacités) se sont élevés à environ 750 millions de dollars EU, et le Plan a été mis en œuvre entre 2008 et 2010. Trois ans après les inondations de 2007, le Tabasco a subi une inondation en 2010 à un niveau encore plus élevé qu'auparavant. Mais cette fois, les mesures prises dans le cadre du Plan hydraulique intégré ont réduit de façon drastique les dommages et les pertes de l'État, qui s'élèvent à 585 millions de dollars EU, soit 80 % de moins qu'en 2007. Le bénéfice des mesures de réduction des risques de catastrophe mises en œuvre en 2010 a été trois fois supérieur à leur coût.

Source : Banque mondiale (2017d).

Les initiateurs de projets liés à l'eau pourraient revendiquer l'augmentation de la part du secteur de l'eau dans le financement de la lutte contre les changements climatiques et de privilégier les liens entre l'eau et d'autres secteurs liés au climat afin de garantir un financement plus conséquent pour la gestion de l'eau

et 0,7 milliard de dollars EU à la gestion de l'eau et des eaux usées pour l'atténuation des changements climatiques. Cela signifie que seulement 2,6 % du financement de l'action climatique de 2016 a été versé directement pour la gestion de l'eau, même si cela peut masquer des projets liés à l'eau dans d'autres secteurs, tels que la gestion des risques de catastrophe, l'agriculture, la foresterie, l'utilisation des terres et la gestion des ressources naturelles, la protection des côtes et d'autres secteurs (CPI, 2018). Les initiateurs de projets liés à l'eau pourraient revendiquer l'augmentation de la part du secteur de l'eau dans le financement de la lutte contre les changements climatiques et de privilégier les liens entre l'eau et d'autres secteurs liés au climat afin de garantir un financement plus conséquent pour la gestion de l'eau.

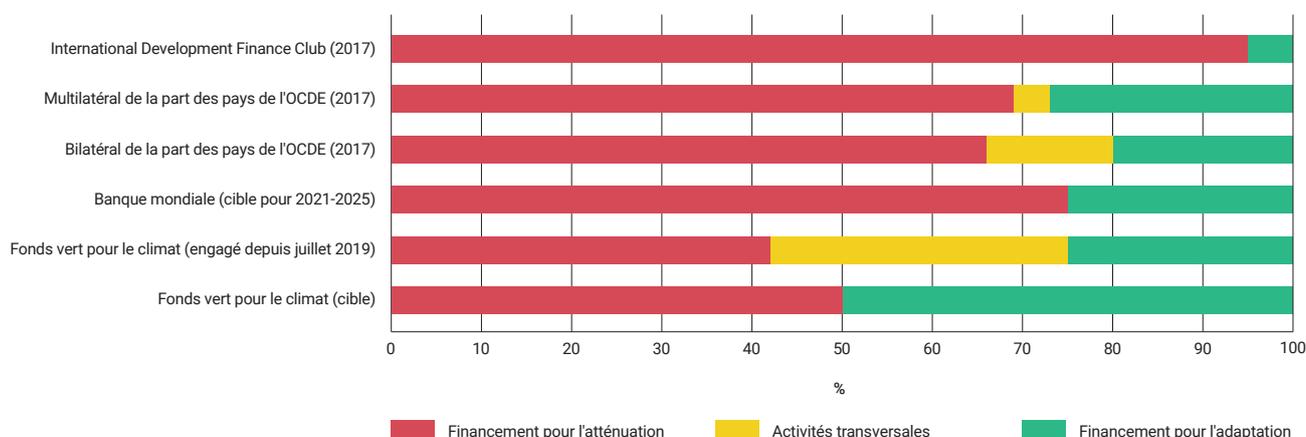
12.2.4 Financement de l'atténuation ou de l'adaptation

Deux tendances prometteuses aideront de plus en plus les projets relatifs à l'eau à accéder au financement de l'action climatique. La première est la reconnaissance croissante du potentiel d'atténuation dans les projets d'eau et d'assainissement. Cette tendance pourrait être particulièrement avantageuse, car l'atténuation représente 93,8 % du financement de l'action climatique en 2016, mais les projets d'eau ne représentent qu'une fraction de 1 % de cette somme (CPI, 2018). Il pourrait y avoir un grand potentiel inexploité à lier intentionnellement l'eau et l'atténuation, ce qui attirerait un financement accru pour les objectifs de gestion de l'eau. Toutefois, le potentiel d'atténuation des options de gestion de l'eau fait l'objet de plus en plus de reconnaissance.

Les services d'eau et d'assainissement peuvent avoir une grande empreinte énergétique, raison pour laquelle il existe un important potentiel d'atténuation dans l'augmentation de l'efficacité de l'eau et de l'énergie, ainsi que la récupération de l'énergie, l'eau et les nutriments des flux d'eaux usées (encadré 12.2 ; voir également les chapitres 3 et 9). Parmi les autres solutions qui présentent des avantages à la fois pour l'eau et le climat, on peut citer l'agriculture régénératrice, les infrastructures vertes, la restauration des écosystèmes et d'autres initiatives innovantes telles que les « photovoltaïques flottants » – des panneaux solaires qui flottent sur des réservoirs et fournissent une énergie propre tout en empêchant la perte d'eau par évaporation.

La deuxième tendance consiste à mettre de plus en plus l'accent sur le financement de l'adaptation aux changements climatiques. Le financement de l'action climatique est généralement fortement axé sur l'atténuation plutôt que sur l'adaptation, mais cela a commencé à changer récemment (figure 12.1).

Figure 12.1 Ratio du financement de l'atténuation par rapport au financement de l'adaptation, par source

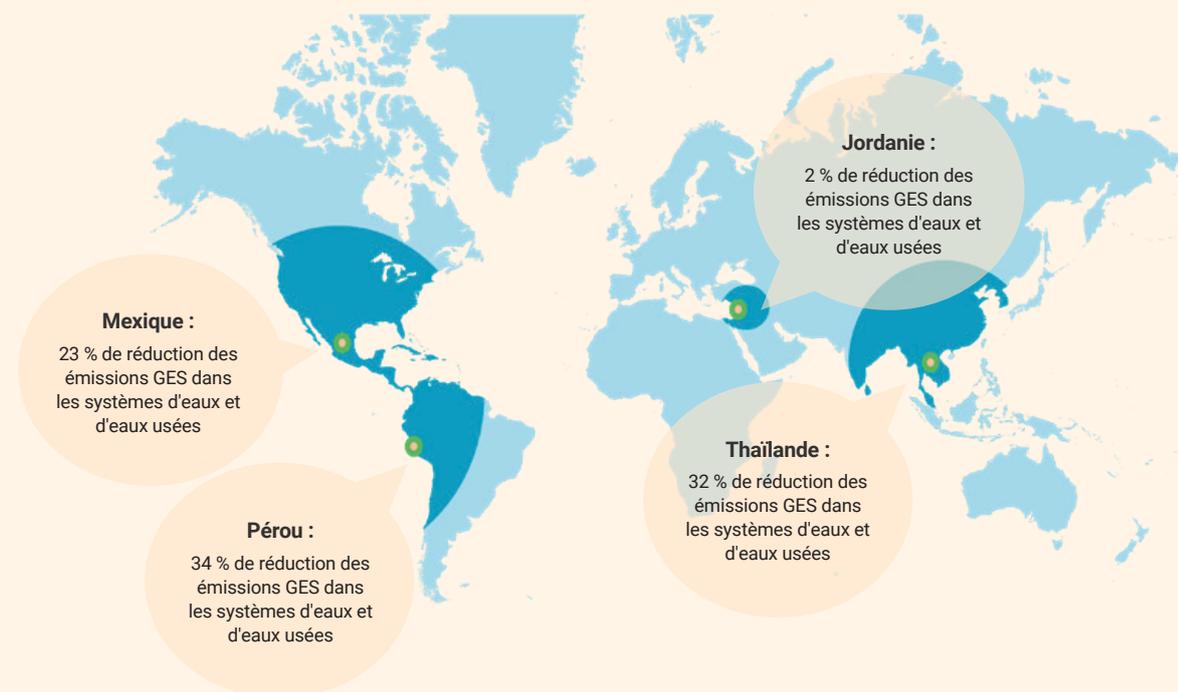


Source : Les auteurs se basent sur des données de la Banque mondiale (2018b), de l'IDFC (2018), de l'OCDE (2018) et du Fonds vert pour le climat (n.d.).

Encadré 12.2 Atténuation des effets des changements climatiques dans le domaine de l'eau et des eaux usées

Le projet Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation (WaCCliM), financé par le gouvernement allemand et mis en œuvre par l'Agence allemande de coopération internationale (GIZ) et l'Association internationale de l'eau (IWA), introduit des technologies de réduction des gaz à effet de serre (GES) dans des services publics en Jordanie, au Mexique, au Pérou et en Thaïlande. Ces mesures comprennent la réduction de la consommation d'énergie, la récupération de l'énergie et des nutriments, la réutilisation de l'eau et la réduction des pertes d'eau. Le projet a également mis au point l'outil d'évaluation et de suivi de la performance énergétique et des émissions de carbone (ECAM) pour aider les services d'eau et d'assainissement à évaluer les émissions de GES et les possibilités d'atténuation, et aider les pays à améliorer le cadre réglementaire, institutionnel et financier pour intégrer les réductions d'émissions dans le secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement. Ces mesures ont permis aux services publics concernés de réduire les émissions de milliers de tonnes de CO₂ tout en réalisant des économies financières et en améliorant la qualité du service.

Figure Estimation des réductions de gaz à effet de serre dans les projets pilotes WaCCliM, en 2018



Sources : WaCCliM (2017a; 2017b).

L'eau est la monnaie commune qui relie presque tous les ODD

Le Fonds vert pour le climat (section 12.5.1) a pour objectif de financer 50 % de l'atténuation et 50 % de l'adaptation. La Banque mondiale a consacré 50 milliards de dollars EU à l'adaptation au cours des cinq prochaines années, et les critères de certification des obligations climatiques comprennent les investissements dans la résilience (Tall et Brandon, 2019). Grâce à ces développements, les praticiens de l'eau qui intègrent l'analyse des changements climatiques dans la planification de leurs projets augmenteront leurs chances d'accéder à des financements pour l'action climatique, que ce soit pour l'atténuation ou l'adaptation.

La gestion des risques de catastrophes a représenté un peu moins de 14 % du financement de l'adaptation au climat en 2016, soit environ 3 milliards de dollars EU (CPI, 2018).

12.3 Considérations économiques des projets relatifs à l'eau et au climat

12.3.1 La valeur de l'eau

L'eau a une valeur absolue. Quant à l'accès à l'eau potable et aux services d'assainissement et d'hygiène, sa valeur va bien au-delà du prix payé au robinet, et constitue un apport vital pour des économies prospères, des communautés stables et des populations en bonne santé. L'eau est essentielle à la survie de tous, elle est un élément nécessaire à la production de nourriture et d'énergie, et elle est à la fois un intrant et un bénéficiaire des services écosystémiques qui soutiennent toute vie sur Terre. Pour ces raisons, « l'eau est la monnaie commune qui relie presque tous les ODD » (Banque mondiale, 2016a, p. vi). Étant donné la rareté et la variabilité accrues causées par les changements climatiques, « la gestion de l'eau sera cruciale pour déterminer si le monde atteint les Objectifs de développement durable » (Banque mondiale, 2016a, p. vi). L'eau a également une valeur sociale, culturelle et religieuse intangible, et elle est inestimable pour la dignité humaine. C'est un droit pour tous.

Des efforts sont actuellement fournis pour mesurer la valeur de l'eau. Le Groupe d'experts de haut niveau sur l'eau a publié les Principes de valorisation de l'eau, qui contiennent des directives pour l'attribution, la gestion et la tarification des services d'eau, compte tenu des nombreuses dimensions de la valeur que l'eau recèle (HLPW, 2018b). L'évaluation de l'eau, de même que le renforcement de la gouvernance et de la capacité institutionnelle, est l'une des étapes les plus critiques vers le développement durable des ressources en eau (Garrick et al., 2017).

Il n'existe pas de valeur unique de l'eau, ni même une seule façon de mesurer sa valeur. Mais plusieurs projets et efforts de modélisation illustrent les avantages substantiels de l'amélioration de la gestion de l'eau dans le contexte des changements climatiques. Par exemple, selon la Banque mondiale, l'amélioration de la gestion des ressources en eau pourrait accélérer la croissance dans certaines régions du monde de 6 % (Banque mondiale, 2016a). Diverses politiques d'adaptation aux changements climatiques liés à l'eau peuvent également offrir des avantages connexes tels que la création d'emplois, l'amélioration de la santé publique, la promotion de l'égalité des sexes, la réduction des dépenses des ménages et la séquestration du carbone, entre autres.

Pour être considérés comme bancables, les projets souhaitant bénéficier du financement de l'action climatique doivent explicitement traiter des causes et/ou des conséquences des changements climatiques

12.3.2 Bancabilité des projets relatifs à l'eau

Le financement de l'action climatique augmente, certes, mais la demande augmente proportionnellement et les niveaux actuels ne sont pas encore suffisants pour répondre aux besoins. L'accès au financement de l'action climatique peut être compétitif et difficile, en particulier pour les projets complexes dans le domaine de l'eau qui peuvent transcender les frontières nationales. Les praticiens doivent s'assurer qu'un projet est « bancable » ou susceptible de recevoir un financement en fonction de sa conception, de ses objectifs, de son profil de risque, de son environnement favorable et d'autres facteurs. Les projets climatiques bancables sont ceux qui ont un « lien clairement articulé avec les impacts des changements climatiques, une bonne connaissance et un respect strict des procédures de financement », et parfois des sources de financement supplémentaires (Banque mondiale, 2019, p. 11).

La bancabilité d'un projet pour le financement du climat diffère légèrement de sa bancabilité pour le financement du développement en général. Pour être considérés comme bancables, les projets souhaitant bénéficier du financement de l'action climatique doivent explicitement traiter des causes et/ou des conséquences des changements climatiques. Les projets d'adaptation et de résilience doivent également démontrer comment le projet répondra aux impacts climatiques prévus dans la zone du projet et y remédiera. Ces liens doivent être étayés par des preuves scientifiques, comme des données climatiques. Les financeurs de l'action climatique, comme le Fonds vert pour le climat, exigent également que tous les projets tiennent compte des dimensions sexospécifiques des changements climatiques et intègrent les considérations d'égalité des sexes dans le cycle du projet. Comme pour le financement du développement, tous les projets doivent respecter les droits de l'homme, y compris le droit à la participation.

En outre, pour augmenter les chances d'accéder à un financement de l'action climatique, les promoteurs de projets devraient rechercher les sources de financement les plus compatibles et faire correspondre leur plan de projet aux critères et objectifs du financeur. Les propositions de projets doivent s'aligner sur les politiques et plans connexes déjà en place, tels que les stratégies nationales de développement, les plans nationaux d'adaptation ou les plans d'investissement et de gestion des bassins fluviaux. Les projets qui communiquent et traitent les risques, ainsi que les projets qui tirent des avantages connexes dans d'autres domaines, comme la santé, sont également considérés comme plus bancables.

Les organismes de gestion de bassin ont un rôle important à jouer dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, car ils peuvent apporter des bénéfices supplémentaires lors de la mise en œuvre de projets impliquant plusieurs pays

Les organismes de gestion de bassin ont un rôle important à jouer dans les bassins hydrographiques transfrontaliers, car ils peuvent apporter des bénéfices supplémentaires lors de la mise en œuvre de projets impliquant plusieurs pays. Cependant, de nombreux organismes de bassin ont du mal à accéder à des fonds pour l'adaptation aux changements climatiques provenant de différentes sources (CEE/RIOB, 2015). Il est essentiel de comprendre et de gérer les risques particuliers et les complexités des projets de bassins fluviaux transfrontaliers pour préparer des propositions de projets bancables qui attireront des partenaires financiers publics et privés. L'exemple du bassin du Niger (encadré 12.3) montre que la mise en commun des projets, un processus scientifique et de planification rigoureux et l'implication précoce des parties prenantes et des bailleurs de fonds ont permis aux organismes de bassin fluvial de lever des fonds importants pour l'adaptation aux changements climatiques (Banque mondiale, 2019).

12.3.3 Stratégies de financement de l'eau en faveur des pauvres

Les personnes vivant dans la pauvreté sont les plus vulnérables aux impacts des changements climatiques et à l'insécurité de l'eau. Par conséquent, des stratégies différenciées qui tiennent spécifiquement compte des besoins de résilience des groupes marginalisés doivent être intégrées dans des plans et projets plus vastes sur l'eau et le climat. Les personnes qui vivent en dessous du seuil de pauvreté et qui ont de faibles réserves financières sont les moins préparées à s'adapter à des événements climatiques intenses tels que des inondations soudaines ou des sécheresses prolongées. Les plans climatiques globaux, en particulier ceux dont il est question plus loin dans ce chapitre, qui intègrent les efforts nationaux d'atténuation et d'adaptation parallèlement à des projets de gestion de l'eau plus spécifiques doivent intégrer des structures de financement susceptibles d'aider les populations à risque à se remettre de ces événements climatiques intenses. En outre, l'accès au financement peut être un élément essentiel des stratégies d'atténuation et d'adaptation, permettant aux personnes à faible revenu d'investir dans des technologies résilientes aux changements climatiques comme la collecte des eaux de pluie.

Encadré 12.3 Regroupement de projets dans les bassins hydrographiques transfrontaliers africains

Le bassin du Niger compte neuf pays riverains et abrite 112 millions de personnes qui dépendent fortement des ressources naturelles qu'il fournit. Ces neuf pays, avec l'Autorité du bassin du Niger prépareront et mettront en œuvre le Plan d'investissement pour le renforcement de la résilience aux changements climatiques, qui comprend des investissements « ciblant la vulnérabilité au stress hydrique, à la variabilité, à la dégradation des sols, des terres et des écosystèmes, et le renforcement de la résilience ». Ces mesures ont été prises à partir du Plan opérationnel de l'Autorité du bassin du Niger, des Plans nationaux d'adaptation et des Programmes d'action nationaux d'adaptation des pays, et des propositions des pays. Le Plan devrait coûter 3,11 milliards de dollars EU et sera financé par les pays membres de l'Autorité du bassin du Niger, la Banque mondiale, la Banque africaine de développement et des sources privées.

La regroupement des projets est un moyen d'éviter la mauvaise adaptation et les conséquences négatives qui pourraient résulter de la prise en compte d'un seul fragment d'un écosystème de bassin interconnecté. Elle peut également promouvoir l'efficacité des ressources et la rentabilité. Par exemple, les efforts de reboisement en amont peuvent améliorer la qualité de l'eau et réduire les risques d'érosion et d'inondation en aval.

Source : Banque mondiale (2019, p. 25).

12.4 Types d'investissements climatiques pour les projets relatifs à l'eau

12.4.1 Investissements sans regret et à faible regret

Les impacts climatiques ne sont pas toujours certains, surtout à une micro échelle. Les connaissances scientifiques et la modélisation prédictive du climat continuent de s'améliorer, mais des décisions doivent être prises entre-temps pour aider les collectivités à se préparer et à s'adapter. Les investissements sans regret et à faible regret sont une réponse à cette incertitude.

Les investissements sans regret sont des investissements qui sont bénéfiques, quels que soient les impacts climatiques – ils procureraient des avantages même en l'absence des changements climatiques, ainsi qu'à travers une gamme de risques climatiques potentiels. Les investissements à faible regret « peuvent entraîner un coût supplémentaire pour compenser les risques liés aux changements climatiques, mais ces coûts sont faibles par rapport aux avantages qu'il y a à éviter les coûts futurs » (GWP-Caribbean/CCCCC, 2014, p. 1). De tels projets augmentent la résilience. Ils ont également tendance à apporter des avantages conjoints à de multiples secteurs et intervenants, à offrir une souplesse intégrée pour les ajustements futurs et à minimiser les concessions réciproques.

Les interventions sans regret dans les domaines de l'eau et de changements climatiques pourraient inclure la collecte des eaux de pluie, la gestion durable des eaux souterraines, les technologies de micro-irrigation, la réutilisation des eaux usées et l'amélioration du stockage de l'eau (Vermeulen et al., 2013). Toute intervention qui améliore l'efficacité et la conservation, en réduisant les fuites par exemple, est aussi généralement considérée comme un choix à faible regret ou sans regret. Ces interventions sont également liées à la fois à l'atténuation et à l'adaptation, puisque l'efficacité et la conservation permettent de réduire la consommation d'énergie et d'accroître la disponibilité de l'eau.

12.4.2 Financement de l'action climatique basé sur les résultats

Le financement de l'action climatique basé sur les résultats est un type d'investissement dans lequel « les fonds sont versés par un investisseur ou un donateur à un bénéficiaire sur la base d'un ensemble de résultats [d'atténuation ou d'adaptation] convenus au préalable, la réalisation de ces résultats étant soumise à une vérification indépendante » (Banque mondiale, 2017d, p. 1). Il peut être utilisé seul ou avec un financement initial, et il peut être déployé à différentes échelles et avec différentes entités de projet.

Il existe plusieurs façons différentes d'aborder le financement de l'action climatique axé sur les résultats, mais en tant que modalité, il a le potentiel d'améliorer les capacités de suivi, de notification et de vérification, de renforcer les institutions nationales, de mobiliser le secteur privé et de créer ou de renforcer les marchés pour produire des résultats en matière de climat. Jusqu'à présent, la plupart des investissements axés sur les résultats ont été réalisés dans des projets d'atténuation des changements climatiques, car les émissions de carbone constituent un indicateur bien défini et mesurable, mais ce type de financement peut également être utilisé pour les objectifs d'adaptation aux changements climatiques. A cet égard, les nouveaux mécanismes climatiques axés sur les résultats peuvent cibler les solutions fondées sur la nature (SfN), là où le déficit de financement devrait être le plus important (CME/GWP, 2018). Les projets qui trouvent des synergies entre les objectifs de gestion de l'eau et l'atténuation ou l'adaptation aux changements climatiques peuvent tirer parti de cette modalité de financement prometteuse.

12.5 Utiliser le financement multilatéral de l'action climatique pour l'eau

Trois institutions de financement multilatérales existent spécifiquement pour le financement de projets climatiques et environnementaux : Le Fonds vert pour le climat, le Fonds pour l'environnement mondial et le Fonds d'adaptation. En outre, les banques de développement ont commencé à donner la priorité aux changements climatiques et à l'intégrer dans leurs activités de développement, et certaines disposent de fonds spécifiques au climat. Les gestionnaires de l'eau pourraient se tourner vers ces fonds qui, en 2016, ont fourni 51 milliards de dollars EU, soit 11 % de l'ensemble des financements de l'action climatique (IPC, 2018).

12.5.1 Le Fonds vert pour le climat

Le Fonds vert pour le climat a été créé en tant que mécanisme de financement de l'Accord de Paris, pour aider les pays en développement à atténuer les changements climatiques et à s'y adapter. En 2019, il a reçu 10,3 milliards de dollars EU de promesses de dons, sur un objectif de 100 milliards de dollars EU par an, et le Fonds a engagé environ 5 milliards de dollars EU de cette somme pour des projets climatiques approuvés (encadré 12.4). Bien que la plupart sinon la totalité de leurs domaines de résultats et de leurs priorités d'investissement concernent la gestion de l'eau, le domaine de résultats le plus évident pour l'eau est la santé, la sécurité alimentaire et la sécurité de l'eau, qui relève de l'adaptation (Fonds vert pour le climat, s.d.).

12.5.2 Le Fonds pour l'environnement mondial

Le Fonds pour l'environnement mondial accorde des subventions pour plusieurs types de projets environnementaux, notamment pour l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à ces changements. Il sert également de mécanisme financier pour la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Depuis sa création en 1992, elle a financé près de 1 000 projets d'atténuation du climat et 330 projets d'adaptation. Un projet récent présentant des avantages à la fois pour le climat et pour l'eau « a aidé à créer des outils pour évaluer les effets du recul des glaciers et intégrer les considérations relatives aux changements climatiques dans la planification stratégique », et « s'est attaqué aux problèmes de développement urgents liés à l'approvisionnement en eau ou à l'irrigation en Bolivie, en Équateur et au Pérou » (FEM, s.d.).

12.5.3 Le Fonds d'adaptation

Le Fonds d'adaptation a été créé à l'origine dans le cadre du Protocole de Kyoto et finance des projets qui aident les pays en développement à s'adapter aux changements climatiques. Il a soutenu plus de 80 projets d'adaptation depuis 2010 et a engagé 564 millions de dollars EU dans des activités d'adaptation et de résilience aux changements climats (Fonds d'adaptation, 2019). Lors de la 24^e Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP24) en décembre 2018, les Parties ont décidé que le Fonds d'adaptation servirait l'Accord de Paris à partir de 2019. La gestion de l'eau est l'un des secteurs de projet du Fonds d'adaptation, qui accepte les propositions de projets transfrontaliers.

12.5.4 Banques de développement

Le changement climatique est une menace pour les objectifs de développement et de lutte contre la pauvreté, alors qu'une action climatique peut apporter des avantages connexes de développement et d'équité. Telle est la raison pour laquelle, lors de la COP24, la Banque mondiale s'est engagée à doubler ses investissements dans le domaine du climat pour les porter à 200 milliards de dollars EU de 2021 à 2025 afin d'aider les pays à prendre des mesures ambitieuses en matière de climat (Banque mondiale, 2018b). De cette somme, 50 milliards de dollars EU seront consacrés au financement de l'adaptation. La Banque mondiale harmonise ses processus et ses paramètres internes pour tenir compte des risques et des possibilités liées au climat et évalue ses activités en fonction des impacts et des avantages connexes. Ainsi, il est intéressant pour les gestionnaires de l'eau qui espèrent accéder aux fonds de la Banque mondiale d'intégrer l'atténuation et/ou l'adaptation aux changements climatiques dans leurs plans (Banque mondiale/IFC/MIGA, 2016).

Encadré 12.4 Le Fonds vert pour le climat et la gestion de l'eau au Sri Lanka

Un projet du Fonds vert pour le climat au Sri Lanka permettra de moderniser les systèmes d'irrigation des villages dans les communautés vulnérables et de promouvoir des pratiques agricoles respectueuses du climat dans trois bassins fluviaux. Il permettra également d'améliorer la gestion des approvisionnements en eau à l'épreuve du climat et de renforcer les prévisions climatiques et hydrologiques afin d'améliorer la gestion de l'eau et la capacité d'adaptation. Le volet « agriculture intelligente » offre des avantages en matière d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets, tout en conservant l'eau et en protégeant les sources d'eau potable.

Source : Fonds vert pour le climat (2018).

Plusieurs banques multilatérales de développement ont formulé des directives pour intégrer l'analyse du climat dans la planification et la conception des investissements. En outre, au cours des dernières années, les banques multilatérales de développement ont également formulé des notes d'orientation pour aider les équipes opérationnelles à passer à des portefeuilles d'investissements intelligents sur le plan climatique et à maximiser les résultats de chaque investissement en matière d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets.

Les banques régionales de développement ont également des initiatives sur les changements climatiques que les praticiens de l'eau pourraient exploiter. Les membres du Club international de financement du développement, un réseau mondial de 23 banques de développement nationales et régionales, ont engagé 196 milliards de dollars EU dans le financement de la lutte contre les changements climatiques en 2017, principalement pour l'atténuation des changements climatiques. Sur les 10 milliards de dollars EU alloués à l'adaptation climatique, 58 % étaient consacrés à la « préservation » de l'eau (qui comprend la gestion des bassins hydrographiques versants, la collecte des eaux de pluie et la réhabilitation des réseaux de distribution d'eau). Le Club de développement international a fourni 72 % de ses engagements de financement vert (y compris le financement de la lutte contre les changements climatiques et d'autres mesures environnementales) à la région de l'Asie de l'Est et du Pacifique, tandis que l'Union européenne (UE) a reçu 14 % du financement vert et l'Amérique latine et les Caraïbes 6 %. Les engagements de financement vert en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud, en Europe de l'Est et en Asie centrale, ainsi qu'au Moyen-Orient et en Afrique du Nord ont été plus faibles, de 1 % à 3 % par région (IDFC, 2018).

12.6 Utiliser le financement national de l'action climatique pour l'eau

12.6.1 Financement multilatéral de l'action climatique

Des initiatives de financement du climat ou des agences de développement ayant des objectifs climatiques existent dans de nombreux pays et régions, notamment dans l'UE, en Allemagne (encadré 12.5), au Japon, dans les pays nordiques, en Suisse, au Royaume-Uni, aux États-Unis d'Amérique, à Abu Dhabi et dans d'autres pays. Il existe également des fonds climatiques régionaux et nationaux dans les pays en développement, tels que le Fonds pour l'Amazonie, le Fonds d'affectation spéciale pour les changements climatiques du Bangladesh, le Fonds vert en Afrique du Sud et le Fonds d'affectation spéciale pour l'Afrique australe (ACT Alliance, 2018).

Le financement public bilatéral pour le climat des pays développés vers les pays en développement a augmenté globalement de 22,5 milliards de dollars EU en 2013 à 27 milliards de dollars EU en 2017 (OCDE, 2018). Comme c'est la tendance chez la plupart des financeurs du climat, les sources bilatérales ont principalement financé l'atténuation (66 % des financements bilatéraux en 2017) plutôt que l'adaptation (21 %), les activités transversales étant plus courantes chez les sources bilatérales (14 % en 2017) que chez les sources multilatérales (4 %) (OCDE, 2018).

Encadré 12.5 Financement climatique bilatéral pour la gestion de l'eau au Népal, en Ouganda et au Pérou

Un exemple d'implication du secteur de l'eau dans un projet climatique bilatéral a eu lieu au Népal, en Ouganda et au Pérou entre 2011 et 2016. Le Programme mondial d'adaptation basé sur les écosystèmes dans les montagnes a été financé par l'Initiative internationale sur le climat du gouvernement allemand et mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) avec des partenaires gouvernementaux locaux. Les activités du programme comprenaient la restauration et la gestion des écosystèmes, la gestion des éléments nutritifs du sol, la conservation et la gestion de l'eau et les mesures d'irrigation. Ces mesures ont permis, entre autres, de sécuriser les approvisionnements en eau et de renforcer la résistance aux sécheresses dans les trois zones de projet.

Source : PNUD (2015).

Encadré 12.6 Critères relatifs aux infrastructures d'adduction d'eau des obligations climatiques

La certification des critères relatifs aux infrastructures d'adduction d'eau en vertu de la norme sur les obligations climatiques est basée sur deux éléments. La certification des critères relatifs aux infrastructures d'adduction d'eau en vertu de la norme sur les obligations climatiques est basée sur deux éléments :

1. Atténuation : Les émissions de gaz à effet de serre des projets liés à l'eau n'augmentent pas et ne sont pas conformes aux niveaux de référence habituels, et ne visent pas à réduire les émissions pendant la durée de vie opérationnelle de l'actif ou du projet lié à l'eau.
2. Adaptation et résilience : L'infrastructure d'adduction d'eau et l'écosystème qui l'entoure sont résilients aux changements climatiques et sont suffisamment adaptés pour faire face aux risques liés aux changements climatiques. Pour le démontrer, les émetteurs doivent tenir compte des éléments suivants :
 - a. Allocation : Comment l'eau est partagée par les utilisateurs dans un bassin hydrographique ou un aquifère donné.
 - b. Gouvernance : Comment/si l'eau sera officiellement négociée et régie.
 - c. Diagnostic technique: Comment/si les changements apportés au système hydrologique sont pris en compte au fil du temps.
 - d. Pour les infrastructures fondées sur la nature et hybrides seulement : Si les émetteurs ont une compréhension suffisante des impacts écologiques sur le site du projet et au-delà, avec une capacité de surveillance et de gestion continue.
 - e. Évaluation du plan d'adaptation : Vérifier l'exhaustivité des mécanismes d'adaptation pour faire face aux vulnérabilités climatiques identifiées.

Source : Extrait de *Climate Bonds Initiative* (2017, p. 1).

12.6.2 Financement national et infranational de l'action climatique

À mesure que la contribution déterminée au niveau national (CDN) de chaque pays à l'Accord de Paris sera intégrée dans les plans de dépenses des gouvernements, les dépenses intérieures des gouvernements nationaux pourraient constituer une source croissante de financement de l'action climatique. La CCNUCC estime que 232 milliards de dollars EU de finances publiques nationales ont été dépensés par an en 2015 et 2016, dont 157 milliards de dollars par an dans les pays en développement et 75 milliards de dollars dans les pays développés. Cependant, « des données complètes sur les dépenses nationales en matière de climat ne sont pas facilement disponibles, et ces données ne sont pas recueillies régulièrement ou selon une méthodologie cohérente » (CCNUCC, 2018, p. 62). Si les gestionnaires de l'eau peuvent aligner leurs projets sur les CDN de leur pays, ils pourront peut-être accéder à ces sources nationales de financement de l'action climatique. Mais sans données complètes, il est difficile de tirer des conclusions qui pourraient guider les efforts de financement de l'eau et de l'assainissement.

Les institutions financières nationales peuvent également offrir des financements pour l'action climatique. En Amérique latine et dans les Caraïbes, les banques nationales de développement telles que la Banque brésilienne de développement « sont déjà la plus importante source de financement public pour le climat sur les marchés intérieurs » (CDRN, 2017, p. 4).

Plusieurs pays et juridictions infranationales ont commencé ces dernières années à créer des banques d'investissement écologiques, également appelées banques vertes. Les banques vertes « sont des institutions financières spécialisées, à capital public et à vocation nationale, spécialement créées pour attirer les capitaux privés » vers les investissements climatiques et environnementaux (NRDC, 2017, p. 1). Alors que les banques vertes ont été initialement créées presque exclusivement dans les pays de l'OCDE, des efforts sont actuellement déployés pour étendre le modèle à des pays d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie (Green Bank Network, 2018). Comme les banques vertes commencent à proliférer, les gestionnaires de projets d'eau voudront peut-être surveiller ce domaine pour de futures possibilités de financement.

12.7 Sources de financement alternatives

12.7.1 Financement du secteur privé

Le financement du secteur privé a représenté la majorité (54 %, soit 230 milliards de dollars EU) des flux de financement du climat en 2016, dont la majeure partie provenait de promoteurs de projets (CPI, 2018). D'autres sources de financement privé pourraient inclure les marchés du carbone, les investissements directs étrangers, les assurances ou les institutions financières commerciales. On estime à 15,7 milliards de dollars EU le financement privé mobilisé par les banques multilatérales de développement (CCNUCC, 2018). Cependant, les sources et les destinations du financement privé ne sont pas bien documentées.

Une nouvelle source de financement privé qui pourrait être utile aux praticiens de l'eau est le marché des obligations vertes. Lancées en 2007, les obligations vertes et les obligations climatiques offrent « d'importantes possibilités mondiales de mobiliser des capitaux à l'échelle pour des infrastructures à faible émission de carbone et résilientes aux changements climatiques et les efforts de développement » (Banque mondiale, 2018c). Le marché des obligations vertes a connu une croissance rapide, passant de 3,4 milliards de dollars EU en 2012 à 168 milliards de dollars EU en 2018. Le Climate Bonds Standard, un système de labellisation similaire à la certification du commerce équitable, a publié les critères relatifs aux infrastructures d'adduction d'eau (encadré 12.6) pour certifier les obligations liées à l'eau pour les normes de gestion de l'eau à faible émission en carbone et résilientes aux changements climatiques (Initiative Obligations climatiques, 2018).

En 2018, le Partenariat mondial sur les obligations vertes a été lancé en vue d'accélérer l'émission d'obligations vertes. Le Partenariat prévoit d'élaborer des boîtes à outils à l'intention des entreprises, des entités infranationales et d'autres groupes qui souhaitent émettre des obligations vertes, afin que les gestionnaires de l'eau puissent tirer parti de ces ressources au fur et à mesure qu'elles se présentent (Banque mondiale, 2018c). D'autres types d'obligations environnementales émergent également, telles que les obligations catastrophes, les obligations d'impact environnemental et les obligations de résilience.

12.7.2 Partenariats public-privé

Les partenariats public-privé intelligents face au climat sont un autre moyen potentiel de répondre aux besoins de financement des investissements dans des infrastructures d'adduction d'eau résilientes aux changements climatiques. Le Mécanisme consultatif pour le renforcement des infrastructures par des partenariats public-privé (PPIAF) a défini les changements climatiques comme une priorité stratégique pour les exercices 2018–2022. Le Mécanisme se concentrera sur les initiatives en matière de changement climatique et intégrera les activités climatiques dans son travail d'assistance technique et de connaissances (Suriyagoda, 2017). Le Fonds d'affectation spéciale pour l'infrastructure du PPIAF pour la lutte contre les changements climatiques fera la promotion de modèles intelligents face au climat et d'environnements favorables à des partenariats public-privé intelligents face au climat. L'approvisionnement en eau et l'assainissement est l'un des secteurs inclus dans les initiatives programmatiques prévues du Fonds.

Bien que les changements climatiques ne jouent pas actuellement un rôle important dans les partenariats public-privé, la prise en compte des changements climatiques par la Banque mondiale et le PPIAF dans leurs initiatives et leurs activités de connaissance définira les tendances futures des infrastructures et constitue un autre domaine à surveiller pour les gestionnaires de l'eau.

12.7.3 Financement mixte

Le financement mixte « intègre différents types de financement dans un seul projet ou fonds » (Banque mondiale, 2019, p. 24). Le financement mixte peut avoir un effet d'entraînement en utilisant des prêts concessionnels (c'est-à-dire des prêts à des taux inférieurs à ceux du marché) ou des subventions pour rendre les projets plus attrayants pour les sources traditionnelles de capitaux, et il peut aider les promoteurs de projets à mieux gérer les risques. Plusieurs banques de développement, fonds climatiques et fonds bilatéraux ont commencé à utiliser ce paradigme pour attirer des financements commerciaux et soutenir des projets qui ont un impact potentiellement élevé mais qui doivent surmonter des obstacles pour être commercialement viables.



Les critères de bancabilité du Fonds vert pour le climat et d'autres sources importantes de financement de projets climatiques tendent à écarter les projets de plus petite envergure et de niveau infranational. Pour combler ce déficit de financement, le R20 : Régions d'action pour le climat et BlueOrchard Finance sont, depuis le début de 2019, en train de mettre en place un Fonds climatique infranational pour l'Afrique. Le Fonds aura recours à un financement mixte pour financer des projets d'infrastructure infranationaux ayant des effets positifs sur le climat dans les marchés émergents (R20 for Climate Change, 2018). Pour les initiateurs de projets relatifs à l'eau, en particulier en Afrique, cela peut être une source de financement à surveiller pour de futures opportunités.

Une attention particulière doit être accordée aux pays à faible revenu, car « les pays qui ont le plus grand besoin d'investissements sont souvent perçus comme étant risqués et ayant des problèmes de gouvernance ». Seuls 3,6 % des financements privés mobilisés par le recours au financement mixte en 2012-2015 ont été versés aux pays à faible revenu (Hedger, 2018b, p. 6).

12.8 Conclusion

L'intérêt croissant pour le financement de l'action climatique, ainsi que la variété de ses sources, instruments et destinations, en font une opportunité attrayante pour les promoteurs de projets et les organisations de l'eau qui espèrent réaliser l'ODD 6. Le défi réside dans leur capacité à établir le lien entre l'eau et le climat et à accéder à ce financement.

Comme la plupart des bailleurs de fonds pour le climat financent principalement des activités d'atténuation, le fait de trouver un alignement entre les objectifs de développement de l'eau et l'atténuation des effets des changements climatiques peut offrir des possibilités de financement plus immédiates que les activités d'adaptation. Jusqu'à présent, le lien entre la gestion de l'eau et l'adaptation a été plus évident et plus facile à établir que l'atténuation. Toutefois, le potentiel d'atténuation des diverses interventions en matière de gestion de l'eau est de plus en plus reconnu. Les solutions politiques et techniques qui mettent en cohérence les objectifs de gestion de l'eau et les objectifs d'atténuation des effets des changements climatiques devraient être un sujet de recherche et de partage des connaissances de plus en plus important, afin d'aider les praticiens du climat et de l'eau à tirer parti de ces liens.



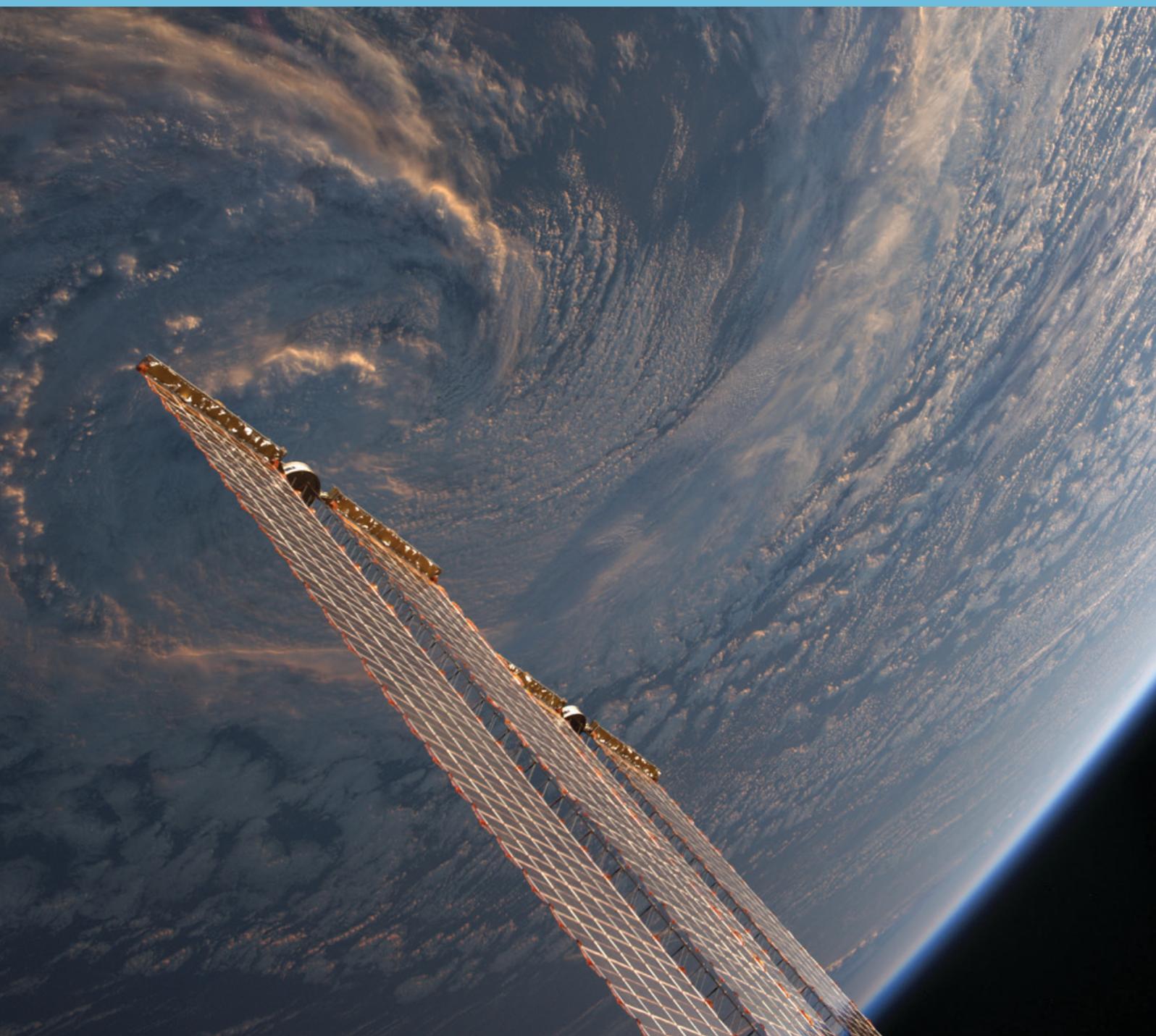
***Le potentiel
d'atténuation
des diverses
interventions en
matière de gestion
de l'eau est de plus
en plus reconnu***

L'architecture de la finance climatique est complexe et évolutive. Il existe de multiples mécanismes, institutions, programmes et activités à diverses échelles. C'est pourquoi une coordination accrue entre ces acteurs permettrait de réduire au minimum les doubles emplois et les inefficacités et faciliterait l'accès au financement. Les sources potentielles de croissance du financement de l'action climatique seront les institutions nationales qui espèrent financer leurs CDN et le Fonds vert pour le climat, dont l'objectif est d'atteindre 100 milliards de dollars de financement par an. Les banques vertes, les obligations vertes, les fonds climatiques infranationaux et les partenariats public-privé sont d'autres domaines émergents à surveiller pour les futures opportunités de financement de l'action climatique.

Il faut toutefois préciser que la gestion de l'eau et l'action en faveur du climat sont toutes deux sous-financées. Bien qu'il augmente, le financement de la lutte contre les changements climatiques n'est pas aussi abondant que nécessaire pour faire face aux changements climatiques (CPI, 2018). La compétition pour le financement de l'action climatique est forte, car il n'y en a pas assez pour tout le monde. Par conséquent, pour atteindre les objectifs en matière de climat et d'eau, il ne suffira peut-être pas d'encourager les synergies eau-climat et d'aider les promoteurs à accéder au financement de l'action climatique. Des changements structurels peuvent également être nécessaires, comme l'octroi d'une plus grande priorité à l'eau dans les fonds climatiques, la conception de mécanismes de liaison entre les communautés de l'eau et du climat, et l'identification de stratégies pour apporter un financement mixte aux pays qui en ont le plus besoin. Les praticiens de l'eau pourraient également devenir des défenseurs du climat, encourageant un financement plus important pour lutter contre les changements climatiques. Puisque l'eau relie tous les Objectifs de développement durable et que les changements climatiques les menacent, il est essentiel de planifier et d'investir dans une gestion durable de l'eau qui intègre correctement la résilience aux changements climatiques et la robustesse face à des destins multiples.

13

Innovation technologique et connaissances des citoyens



Ce chapitre met en évidence les défis et les possibilités que présente la promotion de la recherche, de l'innovation et de la science pour appuyer la prise de décisions éclairées.

13.1 Introduction

Les changements climatiques remettent en question notre capacité, en tant que sociétés, à prévoir, anticiper et absorber les perturbations. En d'autres termes, elle nous met au défi de mettre au point des mécanismes pour réduire l'incertitude, atténuer les risques et améliorer la résilience, afin de nous adapter à un environnement en évolution. Comme décrit dans les chapitres précédents, une meilleure gestion de l'eau offre plusieurs possibilités en termes d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets. Les défis, en termes d'innovation technologique, de gestion des connaissances, de recherche et de développement des capacités, consistent à promouvoir la création de nouveaux outils et de nouvelles approches par le biais de la recherche-développement de pointe et, ce qui est tout aussi important, à accélérer la mise en œuvre des connaissances et des technologies existantes dans tous les pays et toutes les régions. Toutefois, ces actions ne permettront pas à elles seules d'obtenir les résultats escomptés si elles ne sont pas également accompagnées de programmes de sensibilisation, d'éducation et de développement des capacités visant à diffuser largement ces connaissances et à stimuler l'adoption de technologies nouvelles et existantes. L'accès au savoir et à l'information est essentiel, et toute personne a le droit de bénéficier de la science et de ses applications (AGNU, 1966, article 15).

Diverses mesures d'adaptation et d'atténuation peuvent favoriser la résilience des systèmes de gestion de l'eau aux changements climatiques et renforcer la sécurité hydrique, contribuant ainsi directement au développement durable. Afin que ces mesures puissent être efficaces et durables, elles doivent renforcer l'interface des connaissances sur les systèmes et services liés au climat et à l'eau, et identifier les besoins, les pratiques, les priorités, les défis et les lacunes. Les décideurs politiques et les scientifiques sont confrontés au défi d'évaluer et de mesurer les changements et leurs conséquences potentielles. L'incertitude quant à l'ampleur des effets des changements climatiques sur la gestion des ressources en eau et sur les sociétés en général peut entraver la capacité de mettre en œuvre avec succès des mesures d'adaptation dans le développement national et dans les plans et politiques de protection de l'environnement. Un autre défi découle du fait que l'adaptation et l'atténuation nécessitent des approches interdisciplinaires, intersectorielles et multidimensionnelles, qui à leur tour nécessitent la mise en place d'un cadre commun. Des approches, des outils et des méthodologies multidisciplinaires sont donc nécessaires.

La science, la technologie et l'innovation se sont avérées être des moteurs essentiels du développement économique et social, transformant la gouvernance et la gestion des ressources en eau à un rythme sans précédent. L'intégration des politiques de science, de technologie et d'innovation dans les stratégies de développement des ressources en eau, ainsi que sa combinaison avec les changements institutionnels et organisationnels, peuvent contribuer de manière appréciable à accroître l'efficacité, à améliorer la résilience et à favoriser la transition vers la durabilité au sein et au-delà du secteur de l'eau. Ces réalisations offrent de nouvelles possibilités et réponses pour appuyer la prise de décisions judicieuses dans la gouvernance et la gestion des ressources en eau tout en minimisant l'impact des changements climatiques. L'innovation fournit des outils technologiques plus abordables et plus efficaces, permet leur mise en œuvre et est en fait essentielle pour traduire les connaissances scientifiques et le savoir-faire technologique liés à l'eau en processus, services et emplois utiles.

13.2 Innovation technologique

La science, les technologies et l'innovation évoluent rapidement et continuent d'appuyer un certain nombre d'activités de gestion des ressources en eau, notamment : i) l'évaluation et la surveillance globales des ressources en eau et des processus hydrologiques ; ii) la conservation, la récupération et la réutilisation des ressources en eau ; iii) l'adaptation des infrastructures ; iv) la réduction des coûts des processus de traitement et de distribution ; v) l'efficacité de la fourniture et de l'utilisation de l'eau ; et vi) l'accès à l'eau potable et à l'assainissement. Plusieurs innovations dans le secteur de l'eau ont, au cours des dernières années, approfondi notre compréhension des défis liés au climat, et ont fourni de nouvelles façons de s'adapter avec souplesse aux changements climatiques et d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES). Certaines de ces innovations sont énumérées dans cette section.

Les technologies d'**Observation de la Terre** et spatiales génèrent des données et des informations sur le temps, le climat et l'évolution des ressources en eau à différents niveaux. L'observation de la terre par satellite peut aider à identifier les tendances en matière de précipitations, d'évapotranspiration, de couverture neigeuse et de glace/fusion, ainsi que de ruissellement et de stockage. Par exemple, des informations sur les changements dans le stockage des eaux terrestres, y compris dans les aquifères, sont obtenues par une analyse de la variation de la gravité par la mission du satellite GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) exploité par la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis et le Centre aérospatial allemand (DLR). Depuis son lancement en 2002, GRACE a enregistré une multiplication par trois de la masse de glace perdue dans les régions polaires et montagneuses. Il a également observé que sur les 37 plus grands aquifères terrestres, 13 ont subi une perte de masse critique, qui a été induite à la fois par les changements liés au climat et par la pression anthropique (Tapley et al., 2019).

Les progrès réalisés dans les technologies satellitaires au cours des dernières décennies ont également contribué à améliorer la compréhension des impacts des changements climatiques sur la qualité de l'eau en surveillant les écosystèmes fluviaux, marins et côtiers avec un niveau de précision élevé (Skoulikaris et al., 2018). Par exemple, la surveillance par satellite de paramètres environnementaux tels que la turbidité, les matières solides en suspension, la chlorophylle-a, les matières organiques dissoutes et la température de surface de l'eau aide à identifier les zones potentiellement affectées par l'eutrophisation et la prolifération d'algues (UNESCO-PHI, 2018). La télédétection par satellite peut également être un outil puissant de surveillance. Bien qu'elle puisse révéler des processus et des caractéristiques à grande échelle qui ne sont pas facilement observables par les méthodes traditionnelles, la résolution temporelle et spatiale peut ne pas être entièrement adéquate pour des applications et des analyses de données à plus petite échelle. Toutefois, lorsqu'elle est appuyée par des statistiques nationales, des observations sur le terrain et des modèles de simulation numérique, la télédétection peut contribuer à une évaluation complète des impacts des changements climatiques liés à l'eau et ainsi soutenir la prise de décisions concernant les mesures d'adaptation possibles.

Les technologies avancées de détection peuvent soutenir la gestion intelligente de l'eau, notamment en permettant la surveillance en ligne et en temps réel de la disponibilité et de la qualité de l'eau. Des capteurs sans fil pour la surveillance de la consommation d'eau ont été mis au point et sont de plus en plus utilisés en combinaison pour permettre le comptage de l'eau à distance. À Alicante, en Espagne, l'utilisation de compteurs intelligents pour les données relatives à la consommation d'eau a permis de répondre aux besoins d'information sur l'approvisionnement et les utilisations finales, contribuant ainsi à la réalisation des objectifs de gestion durable de l'eau en milieu urbain de la ville (March et al., 2017). La surveillance de la qualité de l'eau aux différentes étapes des processus de traitement des eaux usées est essentielle pour garantir sa réutilisation sans danger à diverses fins, ce qui contribue à réduire le stress hydrique global (encadré 3.2). Cette surveillance est également essentielle pour détecter à temps les fuites de produits chimiques ou les déversements de polluants, ainsi que pour analyser l'efficacité des mesures de décontamination.

Les principales évolutions enregistrées dans les **technologies de l'information et de la communication technologies** (TIC) dans le domaine de l'acquisition des données ont été facilitées par les réseaux Internet à haut débit et à la couverture mondiale, ainsi que par l'informatique en nuage et le renforcement des capacités de stockage virtuel (c'est-à-dire les services de sauvegarde et de stockage en nuage à fonctions multiples) (Skoulikaris et al., 2018). De nouvelles technologies telles que l'Internet des objets (IdO), les mégadonnées, l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage machine font également leur apparition, avec des applications diverses pour réduire l'incertitude, atténuer les risques et améliorer la résilience aux changements climatiques.

L'IdO désigne un concept informatique dans lequel des objets physiques quotidiens sont connectés à l'Internet et/ou entre eux, formant un réseau de dispositifs interconnectés qui peuvent communiquer et transférer des données sans nécessiter d'intervention humaine. La gestion des pertes d'eau devenant de plus en plus importante avec des régions de plus en plus touchées par le stress hydrique, l'IdO déployé dans le cadre des villes intelligentes peut collecter des données critiques liées à l'eau, nécessaires pour améliorer les systèmes de gestion de l'eau, et contribuer aux économies d'eau. Par exemple, la San Francisco Public Utilities Commission aux États-Unis d'Amérique (USA) a installé l'un des plus grands programmes pilotes de compteurs d'eau intelligents, avec 178 000 compteurs d'eau équipés de capteurs intelligents pour enregistrer la consommation horaire d'eau. Les données sont transmises automatiquement, quatre fois par jour, sur un réseau sans fil, et sont utilisées pour détecter les fuites dans le réseau d'approvisionnement en eau ainsi que pour analyser les tendances de la consommation d'eau (San Francisco Water Power Sewer, s.d.). Dans les zones rurales, l'IdO peut améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans l'irrigation grâce à des capteurs qui envoient des données sur les conditions météorologiques et l'humidité du sol au système d'irrigation afin d'optimiser l'arrosage.

L'analyse des métadonnées examine de grandes quantités de données pour découvrir des modèles cachés, des corrélations et d'autres informations. Les applications de l'analyse de données importantes peuvent contribuer à l'acquisition de connaissances en traitant la collecte de flux continus d'informations et de données relatives à l'eau, afin d'en extraire des informations et des connaissances exploitables pour une meilleure gestion de l'eau. Par exemple, la NASA et l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) ont collaboré dans le cadre du projet SERVIR-Mékong pour mettre au point un outil d'analyse historique des inondations, qui analyse les images satellitaires de 1984 à 2015 à l'aide de grands outils et techniques d'analyse de données, afin de fournir des modèles historiques des eaux de surface dans toute l'étendue spatiale (SERVIR-Mékong, s.d.). Le service fournit des informations personnalisées sur les zones inondables (par exemple, la fréquence des cycles d'inondation saisonniers) aux pays de la région du Bas Mékong et a soutenu d'autres efforts de préparation aux catastrophes dans la région du Grand Mékong. L'analytique des mégadonnées offrent également la possibilité d'intégrer des données supplémentaires à celles relatives à l'eau, telles que la structure des échanges commerciaux ou la consommation d'électricité, ce qui permet de mieux comprendre l'évolution des processus qui ont un impact sur les ressources en eau et donc d'améliorer la gestion de l'eau dans un contexte changeant, grâce à une approche intersectorielle.

Diverses techniques, modèles et algorithmes d'apprentissage machine fondés sur l'IA pour la gestion efficace de la qualité de l'eau sont à l'étude, en particulier pour la simulation, la prévision et l'estimation de la qualité de l'eau, pour les analyses statistiques des données sur la qualité de l'eau et pour l'identification des sources de pollution (Sarkar et Pandey, 2015 ; Sengorur et al., 2015 ; Srivasta et al., 2018). Par exemple, Mohammed et al. (2018) ont évalué l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pour l'analyse prédictive de la qualité microbienne de l'eau (les dénombrements des organismes indicateurs fécaux dans l'eau brute) dans le lac Maridal en Norvège. L'IA apparaît également comme une technologie de prévision et d'optimisation de l'efficacité de différentes technologies de dessalement (Cabrera et al., 2017), de développement de la résilience et de la préparation aux inondations (Saravi, et al., 2019), de gestion des aquifères (Moazamnia, et al., 2019) et d'utilisation efficace de l'eau (Chen et al., 2017).

Les progrès des techniques d'IA et d'apprentissage machine peuvent améliorer encore la gestion et la surveillance de la qualité de l'eau par satellite et par observation de la Terre, en permettant et en améliorant l'analyse et l'interprétation des images satellitaires et des données géospatiales pour appuyer la prise de décisions ou pour prévoir les paramètres de disponibilité et de qualité de l'eau (El Din et al., 2017).

13.3 Des données à la prise de décision : combler le fossé entre la science et la politique

La connaissance est constituée d'informations contextualisées, elles-mêmes fondées sur des données brutes qui ont été traitées, organisées, structurées et présentées de manière à les rendre significatives et utiles. Elle constitue la base d'un processus décisionnel éclairé et fondé sur la science.

13.3.1 Intégration des données dans la prise de décisions

Les outils des technologies de l'information et de la communication ont permis de générer un grand nombre de données sur les changements climatiques, ainsi que des informations sur les mesures d'atténuation et d'adaptation pour la gestion de l'eau. Toutefois, ces données doivent être traitées, analysées et présentées de manière à pouvoir être comprises et utilisées par les décideurs. L'utilisation limitée de l'information et des connaissances pour éclairer les politiques de gestion des ressources en eau continue de représenter un défi majeur pour les acteurs du secteur de l'eau (qu'il s'agisse des gouvernements, des scientifiques, du secteur privé, de la société civile, etc.) Les raisons en sont notamment la pénurie de ressources financières et humaines, le manque de sensibilisation et d'engagement des dirigeants politiques, les lacunes en matière de compétences techniques et l'absence de stratégies et de mécanismes clairement définis pour soutenir la gestion globale des connaissances.

L'intégration figure parmi les principaux défis que doivent relever les services publics. Les systèmes d'acquisition de données peuvent être dépassés ou insuffisamment documentés, et ils peuvent produire des formats de données idiosyncrasiques et donc incompatibles entre eux. Par conséquent, des systèmes parallèles se développent et les données recueillies par chacun d'eux ne peuvent être traitées de façon croisée. Un besoin essentiel pour tous les domaines liés à l'eau est de favoriser l'intégration et le développement de systèmes intersectoriels, la compréhension et la collaboration. Les professionnels de chaque secteur doivent mieux connaître et comprendre la pensée et les méthodes appliquées dans les autres secteurs, afin de continuer à innover de façon plus collaborative et plus opérationnelle.

En outre, il est également absolument nécessaire de favoriser le traitement des données en informations et d'encourager la diffusion des connaissances afin de soutenir la prise de décisions (encadré 13.1).

La promotion de l'esprit d'ouverture dans les contenus, des technologies et des processus par la sensibilisation, la formulation de politiques et le renforcement des capacités est un moyen d'élargir l'accès à l'information, aux connaissances et aux technologies. Les logiciels libres et gratuits (FOSS) sont de plus en plus populaires dans les pays à faible et moyen revenu où les coûts élevés des licences pour les logiciels payants peuvent être difficiles à surmonter. De tels outils contribuent à une plus grande transparence et à une plus grande responsabilité dans le secteur. Les outils de visualisation sont également utiles pour rendre intelligibles les données relatives aux changements climatiques et pour fournir aux décideurs des informations claires et simples.

13.3.2 Sciences participatives

Face aux changements climatiques, des approches inclusives permettent à tous les utilisateurs de l'eau de participer à la collecte, au partage et à l'utilisation des informations à des fins d'atténuation et d'adaptation. Par exemple, les sciences participatives et l'externalisation ouverte peuvent contribuer aux systèmes d'alerte précoce et peuvent également fournir des données pour la validation des modèles de prévision des inondations (voir, 2019).

Par exemple, le FOSS pour la gestion des connaissances encourage la participation de la société civile à la collecte, à la fourniture et à l'utilisation de l'information. L'accès à l'information et au savoir permet de donner aux utilisateurs, notamment aux jeunes, aux femmes et aux groupes les plus vulnérables, les moyens de gérer les ressources en eau et de contribuer à une prise de décisions éclairée.

La participation des citoyens à la science contribue à accélérer les découvertes scientifiques, les sciences participatives en démocratisant la recherche et, éventuellement, en améliorant ou en influençant les décisions des intervenants (Ryan et al., 2018). Même si les sciences participatives n'a été largement reconnue que récemment, certaines observations historiques et certains enregistrements de connaissances traditionnelles remontent à des siècles. Les modèles météorologiques et climatiques aux États-Unis ont leurs racines dans les efforts des sciences participatives ont commencé dans les années 1800 (Fiebrich, 2009). Ces observations et ces dossiers historiques des citoyens peuvent être particulièrement utiles pour comprendre les tendances et les changements sur une longue période. En effet, les individus peuvent soutenir la recherche

Encadré 13.1 Système de réseau d'information sur l'eau pour assurer l'interface science.politique

La plateforme en ligne du Système de réseau d'information sur l'eau du Programme hydrologique intergouvernemental de l'UNESCO (PHI-WINS) intègre les données sur les ressources en eau générées par les systèmes d'information géographique (SIG) dans une base de données participative en coopération et en libre accès afin de favoriser le partage des connaissances et l'accès à l'information. Le PHI-WINS est librement accessible à tous, dans le but d'encourager les contributeurs à partager l'information sur l'eau. Le PHI-WINS offre différents ensembles d'informations spatiales qui peuvent être superposés pour croiser les informations et mettre en évidence de nouvelles données par le biais de cartes. La transparence et le respect de la propriété sont garantis, car toute l'information bénéficie de métadonnées dans un format normalisé et d'un identificateur d'objet numérique. Cela permet d'identifier et de créditer avec précision toute contribution, et facilite le partage ultérieur de l'information. La plateforme contribue à combler le fossé entre le Nord et le Sud en termes d'accès et de partage des connaissances.

Pour plus d'informations sur la plateforme PHI-WINS, consultez le site ihp-wins.unesco.org/.

scientifique en documentant les impacts des changements climatiques, notamment en observant et en enregistrant les changements dans les écosystèmes et les phénomènes naturels, tels que le temps, les comportements des animaux et des plantes, ou la prévalence de certaines espèces. Les données enrichies par les sciences participatives peuvent également appuyer l'étalonnage des instruments météorologiques et la collecte de données sur la couverture nuageuse, la température et les précipitations afin d'améliorer la compréhension des variations microclimatiques (Cifelli et al., 2005 ; Clark et al., 2015 ; See et al., 2016 ; Rajagopalan et al., 2017).

Les citoyens surveillent depuis longtemps les niveaux d'eau des lacs et des rivières. De même, l'engagement dans le secteur de l'eau n'a cessé de croître. Les sciences participatives dans ce domaine comprennent, par exemple, la surveillance de la qualité de l'eau, avec des campagnes volontaires d'analyse de la qualité de l'eau par les collectivités locales et les écoles (Jollymore et al., 2017 ; Carlson et Cohen, 2018). Il existe un grand potentiel pour accroître la participation des citoyens à la collecte de données sur l'hydrologie et les ressources en eau en raison de la disponibilité de capteurs peu coûteux, robustes et hautement automatisés, et de la possibilité de les combiner avec de puissants modèles environnementaux pour créer des méthodes de visualisation riches et interactives. Toutefois, il faut relever les défis de la mise en œuvre (Buytaert et al., 2014).

Les scientifiques reconnaissent de plus en plus l'importance des sciences participatives et de l'externalisation ouverte pour la collecte et la récupération des données dans l'étude des changements climatiques et de ses effets. Par exemple, les projets menés par l'Observatoire Pyrénéen du changement climatique (OPCC) comportent des volets visant à faire participer le public par la collecte de données sur la flore dans les écosystèmes transfrontaliers des Pyrénées et sur l'enrichissement en éléments nutritifs des tourbières et des lacs (OPCC, s.d.). Le British Natural Environment Research Council finance un projet scientifique citoyen visant à sauver et à numériser de 2 à 5 millions d'enregistrements météorologiques historiques qui ont été recueillis par les services météorologiques du Royaume-Uni entre 1860 et 1880 (NERC, 2019). Ces données pourraient s'avérer utiles pour l'élaboration et le perfectionnement des modèles et des scénarios climatiques.

Les citoyens peuvent également contribuer à l'action et à l'adaptation climatiques par une action volontaire et une sensibilisation accrue. Les exemples comprennent les guides sur les changements climatiques pour l'action citoyenne (UNESCO, 2017 ; Apel et al., 2010) et les projets de science/d'action citoyenne. Le projet Sandwatch de l'UNESCO (UNESCO, 2017) a élaboré un manuel pour l'adaptation aux changements climatiques et l'éducation au développement durable afin d'engager les élèves, les enseignants et les communautés locales dans la surveillance des environnements côtiers des petits États insulaires en développement (PEID) (tels que l'érosion des plages, la pollution, les sédiments, la qualité de l'eau, etc. Le projet « FreshWater Watch » d'EarthWatch et d'autres projets similaires favorisent l'engagement du public par des actions concrètes d'observation de la qualité de l'eau douce, de la pollution et de la faune. Depuis 2012, la communauté FreshWater Watch a recueilli plus de 20 000 échantillons de la qualité de l'eau dans le monde entier, qui ont été fournis par des bénévoles, des organismes de recherche et des écoles au Royaume-Uni, en Europe et en Afrique (EarthWatch Institute, s.d.).

En associant la recherche scientifique et l'éducation du public, les sciences participatives aborde également de manière approfondie les répercussions sociétales plus larges, en faisant participer le public à des expériences de recherche à diverses étapes du processus scientifique et en utilisant les outils de communication modernes pour les faire participer (Dickinson et al., 2012), contribuant ainsi à combler l'écart entre la science et les politiques.

14

Aller de l'avant



Ce dernier chapitre appelle à l'action urgente.

14.1 De l'adaptation à l'atténuation

Certains des impacts des changements climatiques liés à l'eau sur le cycle hydrologique peuvent être tout à fait évidents, comme le montrent la fréquence et l'intensité croissantes des événements extrêmes tels que les tempêtes, les inondations et les sécheresses. Toutefois, les impacts globaux sont beaucoup plus profonds. La sécurité alimentaire, la santé humaine, les établissements urbains et ruraux, la production d'énergie, le développement industriel, la croissance économique et les écosystèmes sont tous tributaires de l'eau et donc vulnérables aux effets des changements climatiques. Lorsque les changements climatiques ont un impact sur les ressources en eau et les services liés à l'eau, ils privent les populations de l'exercice de leurs droits à l'eau potable et à l'assainissement et menacent les moyens de subsistance, en particulier ceux des femmes, des hommes et des enfants les plus vulnérables du monde.

Les liens entre l'eau et les Objectifs de développement durable (ODD) ont été clairement démontrés (Nations Unies, 2018a ; ONU-Eau, 2019 ; Nations Unies, 2019). Ainsi, l'incapacité à s'adapter aux changements climatiques non seulement met en péril la réalisation de l'ODD 6 (l'Objectif « eau »), mais elle compromet également la réalisation de la plupart des autres ODD. Cela semble suffisant en soi pour attirer l'attention des sociétés et des décideurs dans tous les secteurs et aux niveaux de gouvernement appropriés, et pour inciter les communautés de l'eau et des changements climatiques à prendre des mesures plus importantes, ciblées et concertées en collaboration avec d'autres secteurs tributaires de l'eau, en particulier en termes d'adaptation dans le domaine de l'eau.

Un tel appel à l'action n'est pas nouveau. En 2003, l'initiative mondiale « Dialogue sur l'eau et le climat » a cherché à combler les lacunes en matière de connaissances et de communication entre les gestionnaires de l'eau et les climatologues, et à promouvoir des mesures d'adaptation liées à l'eau par une série de 18 dialogues multipartites aux niveaux régional, national et ceux des bassins, soulignant collectivement la nécessité de se préparer et de s'adapter aux effets de la variabilité du climat et aux conséquences probables des changements climatiques (Kabat et Van Schaik, 2003). Bien que reconnus par certains, cet appel à l'action, et d'autres semblables, sont restés largement ignorés. Près de deux décennies plus tard, la recherche a mûri et les preuves se sont accumulées au point que le processus de changement climatique est accepté comme une « certitude » par tous, sauf quelques voix isolées au sein de la communauté scientifique. Mais là encore, les actions concrètes restent largement insuffisantes.

Une chose qui a commencé à changer est la reconnaissance et la compréhension du fait que l'eau, et plus particulièrement une meilleure gestion de l'eau, peut être une composante très importante de la solution aux changements climatiques.

On a longtemps cru que l'atténuation concernait principalement l'énergie, alors que l'adaptation concernait principalement l'eau. Bien qu'elle soit quelque peu vraie, cette perspective simplifie grandement les choses. Bien entendu, la gestion de l'eau doit s'adapter aux changements climatiques – qu'il s'agisse de contrer les effets des inondations ou de faire face au stress hydrique croissant pour l'agriculture, l'industrie et d'autres utilisations. Mais la gestion de l'eau peut également jouer un rôle très important dans l'atténuation des changements climatiques.

Comme décrit tout au long du présent rapport, des interventions spécifiques de gestion de l'eau telles que la protection des zones humides, l'agriculture de conservation et d'autres solutions fondées sur la nature (SfN) peuvent aider à séquestrer le carbone dans la biomasse et les sols, tandis qu'un traitement amélioré des eaux usées peut aider à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et à produire du biogaz comme source d'énergie renouvelable.

Il est tout à fait possible de convertir ces connaissances en actions, mais pour y parvenir, il faudra adopter une série de réponses pratiques et ayant un bon rapport coût-efficacité, et créer un environnement propice à un changement transformateur positif.

14.2 Favoriser un environnement propice au changement

14.2.1 Associer l'action climatique et la gouvernance de l'eau

C'est à travers l'eau que les sociétés subissent les effets les plus graves des changements climatiques. Cela fait de l'eau et des changements climatiques l'affaire de tous. Le Chapitre 11 souligne l'importance d'une approche équitable, participative et multipartite de la gouvernance de l'eau dans le contexte des changements climatiques. Compte tenu de la nature transversale de l'eau et du climat dans les différents secteurs économiques et dans la société, il convient de faire des concessions réciproques et de prendre en compte les intérêts contradictoires à tous les niveaux afin de négocier des solutions intégrées et coordonnées.

Le chapitre 2 décrit l'eau comme un « connecteur » parmi les engagements mondiaux adoptés en 2015 : Le Programme 2030 et les ODD, l'Accord de Paris sur les changements climatiques et le Cadre de Sendai sur la réduction des risques de catastrophe. La reconnaissance du rôle central de l'eau dans la réalisation des différents accords internationaux peut se répercuter sur les priorités nationales qui, à leur tour, soutiennent les actions locales des communautés, des parties prenantes et des citoyens.

Comme indiqué au chapitre 10, les mécanismes de coopération régionale et transfrontalière (par bassin hydrographique) offrent des possibilités de faire progresser les éléments d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets dans la planification de la mise en valeur des ressources en eau et vice versa. La coopération régionale et transfrontalière peut permettre la mise en commun des ressources et peut profiter aux entités participantes grâce à l'amélioration de la communication, du suivi et du partage des données, à la coopération sectorielle, au soutien des capacités et (éventuellement) à un meilleur accès aux mécanismes de financement.

14.2.2 Élargir les possibilités de financement par le biais du programme sur les changements climatiques

Un examen approfondi des contributions nationales déterminées (CDN) soumises par les pays dans le cadre de l'Accord de Paris révèle que, dans de nombreux cas, l'eau est reconnue en termes d'énoncés de politique ou de plans généraux (chapitre 10). Cependant, seul un nombre très limité de CDN inclut effectivement l'« intention » de préparer un plan spécifique pour l'eau. Et si une majorité de pays reconnaissent l'eau dans le « portefeuille d'actions » de leur CDN, moins nombreux sont ceux qui ont estimé les coûts liés à ces actions, et encore moins nombreux sont ceux qui ont inclus des propositions détaillées de projets liés à l'eau.

Cette situation est directement liée au financement – une question absolument critique, car la gestion des ressources en eau et les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement sont restés notoirement sous-financés. Bien qu'il y ait un certain nombre de fonds disponibles dans le cadre des fonds pour les changements climatiques, la plupart de ces fonds ont été réservés à l'atténuation et n'ont donc pas été accessibles comme source de financement pour les projets liés à l'eau. Pourtant, comme il est décrit aux chapitres 3 et 9, un certain nombre d'interventions en matière de gestion de l'eau peuvent comporter et comportent effectivement des aspects d'atténuation et d'adaptation. Le fait de relier l'eau aux changements climatiques permettrait aux pays de mobiliser des ressources supplémentaires pour faire face à l'important chevauchement

entre les défis liés au climat et à l'eau, et d'améliorer ainsi les perspectives d'atteindre les objectifs globaux de gestion de l'eau tels que décrits dans l'ODD 6.

Comme indiqué au chapitre 12, il existe de plus en plus de possibilités d'intégrer de façon plus authentique et systématique la planification de l'adaptation et de l'atténuation dans les investissements dans le secteur de l'eau, ce qui rend ces investissements et les activités connexes plus attrayants pour les financiers de l'action climatique. En outre, diverses initiatives d'adaptation aux changements climatiques liés à l'eau peuvent également offrir des avantages connexes telles que la création d'emplois, l'amélioration de la santé publique (chapitre 5), la réduction de la pauvreté (chapitre 11), la promotion de l'égalité des sexes, la réduction des dépenses des ménages et la séquestration du carbone, entre autres. Les établissements humains (chapitre 8), l'agriculture (chapitre 6), l'énergie et l'industrie (chapitre 7) et la réduction des risques de catastrophe (chapitre 4) sont tous des secteurs critiques dans lesquels la relation eau-climat peut être mise en évidence dans le cadre des CDN. Le fait de souligner ces synergies potentielles dans le cadre du processus de planification, le cas échéant, augmenterait la « bancabilité » d'un projet lorsqu'il est présenté aux financiers. D'autant plus lorsqu'il est présenté dans le contexte d'un cadre « axé sur les résultats » qui intègre des modalités de gestion des risques et des incertitudes climatiques et non climatiques.

En outre, les investissements dans la gestion de l'eau sont rentables en termes d'amélioration de la disponibilité de l'eau en qualité et en quantité suffisantes, et d'évitement de coûts liés aux événements extrêmes (chapitre 12). Indirectement, un environnement plus sûr, tant en termes de disponibilité de l'eau que de résilience aux événements extrêmes, incite à accroître les investissements économiques.

14.2.3 Renforcer les connaissances, les capacités et la coopération

Malgré les preuves de plus en plus nombreuses que les changements climatiques ont une prépondérance sur le cycle hydrologique mondial, beaucoup d'incertitudes subsistent lorsqu'on projette ses impacts sur des échelles géographiques et temporelles plus petites (Prologue). Toutefois, cette incertitude ne doit pas être considérée comme une excuse pour l'inaction. Elle devrait plutôt servir d'incitation à approfondir la recherche, promouvoir le développement d'outils analytiques pratiques et de technologies novatrices (Chapitre 13) et renforcer les capacités institutionnelles et humaines nécessaires pour favoriser la prise de décisions éclairées et fondées sur la science, et ainsi être préparée pour un environnement en évolution.

Comme il est décrit au chapitre 9, les différents secteurs et intervenants peuvent être confrontés à divers défis en ce qui concerne la gestion de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets. La corrélation souvent étroite qui existe dans le lien eau-climat-énergie-aliments-environnement peut, dans certains cas, donner lieu à des synergies et à des avantages croisés et, dans d'autres, imposer des choix et des concessions réciproques difficiles. Des approches ouvertes et interdisciplinaires sont donc nécessaires pour garantir que les différentes perspectives et connaissances des différentes disciplines alimentent les analyses et éclairent le processus décisionnel. Les exemples de l'agriculture de conservation (chapitre 6) et de la gestion durable des terres (chapitre 9) montrent clairement comment les techniques de gestion des sols appliquées localement peuvent avoir des effets positifs sur la disponibilité de l'eau et la lutte contre les inondations dans un bassin hydrographique versant (adaptation), tout en améliorant le stockage du carbone dans le sol (atténuation).

La nécessité d'une plus grande coopération entre les communautés de l'eau et du climat dépasse largement le domaine de la recherche scientifique. La déconnexion reste sans ambiguïté au niveau politique également – le plus évident étant le fait que le terme « eau » est complètement absent de l'accord de Paris (CCNUCC, 2015). D'une part, il est impératif que la communauté des changements climatiques, et les négociateurs du climat en particulier, accordent une plus grande attention au rôle de l'eau et reconnaissent son importance centrale dans la lutte contre la crise des changements climatiques. D'autre part, il est tout aussi (sinon plus) essentiel que la communauté de l'eau concentre ses efforts pour promouvoir l'importance de l'eau en termes d'adaptation et d'atténuation, pour développer des propositions de projets concrets liés à l'eau à inclure dans les CDN, et pour renforcer les moyens et les capacités de planifier, mettre en œuvre et surveiller les activités liées à l'eau dans les CDN (avant la révision des CDN de 2020 et au-delà).



14.3 Coda

Combiner l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets, par le biais de l'eau, est une proposition gagnante pour tous. Tout d'abord, bien sûr, elle profite à la gestion des ressources en eau et améliore la fourniture des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Deuxièmement, cela contribue directement à la lutte contre les causes et les effets des changements climatiques, y compris la réduction des risques de catastrophe. Troisièmement, il contribue, directement et indirectement, à la réalisation de plusieurs des Objectifs de développement durable (faim, pauvreté, santé, énergie, industrie, action climatique, etc. – sans parler de l'ODD 6, l'objectif « eau » lui-même) et d'une foule d'autres objectifs mondiaux.

À une époque caractérisée par une multitude d'études et d'articles sur les changements climatiques et d'autres crises environnementales mondiales, et à la lumière des revers perçus lors de la réunion de la COP 25, ce rapport propose une série de réponses pratiques, en termes de politique, de financement et d'action sur le terrain, pour soutenir nos objectifs collectifs et nos aspirations individuelles à réaliser un monde durable et prospère pour tous.



Références

- 2030 WRG (2030 World Resources Group). 2009. *Charting our Water Future: Economic Frameworks to Inform decision-making*. 2030 WRG. www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/pdfs/charting%20our%20water%20future/charting_our_water_future_full_report_ashx
- 2030 WRG/PNUD (2030 World Resources Group/Programme des Nations Unies pour le développement). 2019. *Gender and Water in Agriculture and Allied Sectors: Case Studies from Maharashtra*. 2030 WRG/PNUD. www.2030wrg.org/wp-content/uploads/2019/02/Gender-Water-Agriculture-Report_Final.-Feb-19.pdf
- Abbott, B. W., Bishop, K., Zarnetske, J. P., Minaudo, C., Chapin, F. S., Krause, S., Hannah, D. M., Conner, L., Ellison, D., Godsey, S. E., Plont, S., Marçais, J., Kolbe, T., Huebner, A., Frei, R. J., Hampton, T., Gu, S., Buhman, M., Sayedi, S. S., Ursache, O., Chapin, M., Henderson, K. D. et Pinay, G. 2019. « Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions ». *Nature Geoscience*, Vol. 12, n° 7, pp. 533–540. doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y
- ACT Alliance. 2018. *A Resource Guide to Climate Finance: An Orientation to Sources of Funds for Climate Change Programmes and Action*. Genève, Secrétariat d'ACT Alliance. actalliance.org/wp-content/uploads/2018/06/ENGLISH-quick-guide-climate-finance.pdf
- Adams III, T. E. et Pagano, T. C. (eds). 2016. *Flood Forecasting: A Global Perspective*. Amsterdam Elsevier PA. doi.org/10.1016/B978-0-12-801884-2.09999-0
- Adikari, Y. et Yoshitani, J., 2009. *Global Trends in Water-Related Disasters: An Insight for Policymakers*. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181793
- Agence de protection de l'environnement du Ghana/Commission nationale de planification du développement du Ghana/Ministère des finances du Ghana. 2018. *Ghana's National Adaptation Plan Framework*. www.researchgate.net/profile/Philip_Antwi-Agyei/publication/334416010_Ghana's_National_Adaptation_Plan_Framework/links/5d28469d458515c11c274100/Ghanas-National-Adaptation-Plan-Framework.pdf
- Aggarwal, P. K., Jarvis, A., Campbell, B. M., Zougmore, R. B., Khatri-Chhetri, A., Vermeulen, S. J., Loboguerrero, A., Sebastian, L. S., Kinyangi, J., Bonilla-Findji, O., Radeny, M., Recha, J., Martinez-Baron, D., Ramirez-Villegas, J., Huyer, S., Thornton, P., Wollenberg, E., Hansen, J., Alvarez-Toro, P., Aguilar-Ariza, A., Arango-Londoño, D., Patiño-Bravo, V., Rivera, O., Ouedraogo, M. et Tan Yen, B. 2018. « The climate-smart village approach: Framework of an integrative strategy for scaling up adaptation options in agriculture ». *Ecology and Society*, Vol. 23, n° 1, p. 14. doi.org/10.5751/ES-09844-230114
- AGNU (Assemblée générale des Nations Unies). 1966. *Pacte international relatif aux droits économiques, sociaux et culturels*. Résolution 2200a (XXI) de l'Assemblée générale des Nations Unies, 16 décembre 1966. Collection des traités, vol. 993. Organisation des Nations Unies. treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=IV-3&chapter=4&clang=fr
- _____. 1992. *Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement*. Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992, Organisation des Nations Unies. www.un.org/french/events/rio92/aconf15126vol1f.htm
- _____. 2015. *Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015. Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030*. Soixante-dixième session. documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/90/PDF/N1529190.pdf?OpenElement
- AIE (Agence internationale de l'énergie). 2012. *World Energy Outlook 2012*. Paris, OCDE/AIE. doi.org/10.1787/weo-2012-en
- _____. 2015. *Energy and Climate Change: World Energy Outlook Special Report*. Paris, OCDE/AIE.
- _____. 2016. *World Energy Outlook 2016*. Paris, OCDE/AIE. www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2016_weo-2016-en
- _____. 2017a. *Tracking Clean Energy Progress 2017*. Paris, OCDE/AIE. www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2017/05/TrackingCleanEnergyProgress2017.pdf
- _____. 2017b. *CO₂ from Fuel Combustion*. Paris, Éditions OCDE. doi.org/10.1787/co2_fuel-2017-en
- _____. 2018. *World Energy Outlook 2018. Paris, IEA*.
- IAH (Association internationale des hydrogéologues). 2019. *Climate-Change Adaptation & Groundwater*. IAH Strategic Overview Series. iah.org/wp-content/uploads/2019/07/IAH_Climate-ChangeAdaptationGdwtr.pdf
- Allen, C. et Stankey, G. H. (eds). 2009. *Adaptive Environmental Management. A Practitioner's Guide*. Dordrecht, Pays-Bas, Springer.
- Alqaisi, O., Ndambi, O. A., Mohi Uddin, M. et Hemme, T. 2010. « Current situation and the development of the dairy industry in Jordan, Saudi Arabia, and Syria ». *Tropical Animal Health and Production*, Vol. 42, n° 6, pp. 1063–1071. doi.org/10.1007/s11250-010-9553-y
- Altchenko, Y. et Villholth, K. G. 2015. « Mapping irrigation potential from renewable groundwater in Africa – A quantitative hydrological approach ». *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 19, pp. 1055–1067. doi.org/10.5194/hess-19-1055-2015

- Amarnath, G. 2017. *Investing in Disaster Resilience: Risk Transfer through Flood Insurance in South Asia*. Présentation lors de l'atelier sur la lutte contre les risques de catastrophes spécifiques – l'Asie du Sud et du Sud-Ouest, 30 et 31 octobre 2017, Katmandou. www.unescap.org/sites/default/files/Session_4_Giriraj_Amarnath_Investing_in_Disaster_Resilience.pdf
- Amarnath, G., Kalanithy, V. et Agarwal, A. 2017. « Satellite imagery+crop insurance=farmers gain ». *Geospatial World*, Vol. 7, n° 3, pp. 58–61.
- Amarnath, G. et Sikka, A. 2018. « Satellite data offers new hope for flood-stricken farmers in India ». *Asia Insurance Review*, pp. 80–82.
- Anacondas, L. 2019. Major crops facing drier conditions without reductions in greenhouse emissions, Major crops facing wetter conditions without reduction in greenhouse emissions. Infographics. CIAT (International Center for Tropical Agriculture). blog.ciat.cgiar.org/dramatic-rainfall-changes-for-key-crops-expected-even-with-reduced-greenhouse-gas-emissions/
- Andrews, M., Berardo, P. et Foster, D. 2011. « The sustainable industrial water cycle – A review of economics and approach ». *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. 11, n° 1, pp. 67–77. doi.org/10.2166/ws.2011.010
- Angeloudis, A., Ahmadian, R., Falconer, R. A. et Bockelmann-Evans, B. 2016. « Numerical model simulations for optimisation of tidal lagoon schemes ». *Applied Energy*, Vol. 165, pp. 522–536. doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.079
- Antwi-Agyei, P., Amoah, Antwi-Boasiako et Crawford, A. 2018. *Ghana's National Adaptation Plan Framework*.
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A. et Lunn, D. 2014. « Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development ». *Energy Policy*, Vol. 69, pp. 43–56. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069
- Apel, M., McDonnell, L., Moynihan, J., Simon, D. et Simon-Brown, V. 2010. *Climate Change Handbook: A Citizen's Guide to Thoughtful Action*. Contributions in Education and Outreach (CEO) Series. Corvallis (Oreg.), Université d'État de l'Oregon.
- APFM (Associated Programme on Flood Management). 2007. *Formulating a Basin Flood Management Plan: A Tool for Integrated Flood Management*. Document technique no 6 de l'APFM, Flood Management Tools Series. Organisation météorologique mondiale/Partenariat mondial pour l'eau (OMM/GWP). www.apfm.info/pdf/ifm_tools/Tools_Basin_Flood_Management_Plan.pdf
- _____. 2013a. *Risk Sharing in Flood Management*. Document technique n° 8 de l'APFM, Flood Management Tools Series. Organisation météorologique mondiale/Partenariat mondial pour l'eau (OMM/GWP). www.floodmanagement.info/publications/tools/APFM_Tool_08.pdf
- _____. 2013b. *Flood Forecasting and Warning*. Document technique n° 19 de l'APFM, Flood Management Tools Series. Organisation météorologique mondiale/Partenariat mondial pour l'eau (OMM/GWP). www.floodmanagement.info/publications/tools/APFM_Tool_19.pdf
- AQUASTAT. 2010. *Global Water Withdrawal*. Site Web d'AQUASTAT. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/image/WithTimeNoEvap_eng.pdf
- _____. 2014. Infographie. Site Web d'AQUASTAT. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index2.stm
- _____. s.d. AQUASTAT – Système d'information mondial de la FAO sur l'eau et l'agriculture. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). www.fao.org/aquastat/fr/
- Asadieh, B. et Krakauer, N. Y. 2017. « Global change in streamflow extremes under climate change over the 21st century ». *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 21, pp. 5863–5874. doi.org/10.5194/hess-21-5863-2017
- Asoka, A., Gleeson, T., Wada, Y. et Mishra, V. 2017. « Relative contribution of monsoon precipitation and pumping to changes in groundwater storage in India ». *Nature Geoscience*, Vol. 10, n° 2, pp. 109–117. doi.org/10.1038/ngeo2869
- Association européenne de l'énergie éolienne. 2014. *Saving Water with Wind Energy*. Association européenne de l'énergie éolienne. windeurope.org/about-wind/reports/saving-water-wind-energy/
- Australian Academy of Science. 2019. *Investigation of the Causes of Mass Fish Kills in the Menindee Region NSW over the Summer of 2018–2019*. Canberra, Australian Academy of Science. www.science.org.au/files/userfiles/support/reports-and-plans/2019/academy-science-report-mass-fish-kills-digital.pdf
- Avellán, T. et Gremillion, P. 2019. « Constructed wetlands for resource recovery in developing countries ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 99, pp. 42–57. doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.024.
- Ayers, J., Huq, S., Wright, H., Faisal, A. M. et Hussain, S. T. 2014. « Mainstreaming climate change adaptation into development in Bangladesh ». *Climate and Development*, Vol. 6, n° 4, pp. 293–305. doi.org/10.1080/17565529.2014.977761
- Bakker, M. H. N. 2009a. « Transboundary river floods: Examining countries, international river basins and continents ». *Water Policy*, Vol. 11, pp. 269–288. doi.org/10.2166/wp.2009.041
- _____. 2009b. « Transboundary river floods and institutional capacity ». *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, Vol. 45, n° 3, pp. 553–566. doi.org/10.1111/j.1752-1688.2009.00325.x
- Banque mondiale. 2016a. *High and Dry. Climate Change, Water and the Economy*. Washington, D.C., Banque mondiale. www.openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23665
- _____. 2016b. *Poverty and Shared Prosperity 2016: Taking on Inequality*. Washington, D.C., Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25078. Licence : CC BY 3.0 IGO.

- _____. 2016c. *Blended Financing for the Expansion of the As-Samra Wastewater Treatment Plant in Jordan*. Washington, D.C., Banque mondiale. www.documents.worldbank.org/curated/en/959621472041167619/pdf/107976-Jordan.pdf
- _____. 2017a. *Greenhouse Gases from Reservoirs Caused by Biogeochemical Processes*. Washington, D.C., Banque mondiale. doi.org/10.1596/29151
- _____. 2017b. *Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa*. Brochure d'aperçu. Washington, D.C., Banque mondiale. www.openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/27659/211144ov.pdf
- _____. 2017c. *Climate Resilience in Africa: The Role of Cooperation around Transboundary Waters*. Washington, D.C., Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29388
- _____. 2017d. *Results-Based Climate Finance in Practice: Delivering Climate Finance for Low-Carbon Development*. Washington, D.C., Banque mondiale. www.documents.worldbank.org/curated/en/410371494873772578/Results-based-climate-finance-in-practice-delivering-climate-finance-for-low-carbon-development
- _____. 2018a. *Assessment of the State of Hydrological Services in Developing Countries*. Washington, D.C., Banque mondiale. www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/state-of-hydrological-services_web.pdf
- _____. 2018b. *Le Groupe de la Banque mondiale va mobiliser 200 milliards de dollars pour le climat au cours des cinq prochaines années*. Communiqué de presse, 3 décembre 2018. www.banquemondiale.org/fr/news/press-release/2018/12/03/world-bank-group-announces-200-billion-over-five-years-for-climate-action
- _____. 2018c. *Launch of the Global Green Bond Partnership: Scaling Finance for Subnational and Corporate Climate Action through Green Bonds*. Communiqué de presse, 13 septembre 2018. www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/09/13/launch-of-the-global-green-bond-partnership
- _____. 2019. *Financing Climate Change Adaptation in Transboundary Basins: Preparing Bankable Projects*. Water Global Practice Discussion Paper. Washington, D.C., Banque mondiale. documents.worldbank.org/curated/en/172091548959875335/Financing-Climate-Change-Adaptation-in-Transboundary-Basins-Preparing-Bankable-Projects
- Banque mondiale/IFC/AMGI (Banque mondiale/Société financière internationale/Agence multilatérale de garantie des investissements). 2016. *World Bank Group Climate Change Action Plan 2016-2020*. Washington, D.C., Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24451
- Baraer, M., McKenzie, J., Mark, B. G., Gordon, R., Bury, J., Condom, T., Gomez, J. Knox, S. et Fortner, S. K. 2015. « Contribution of groundwater to the outflow from ungauged glacierized catchments: A multi-site study in the tropical Cordillera Blanca, Peru ». *Hydrological Processes*, Vol. 29, n° 11, pp. 2561–2581. doi.org/10.1002/hyp.10386
- Barber, M. et Jackson, S. 2014. « Autonomy and the intercultural: Interpreting the history of Australian Aboriginal water management in the Roper River catchment, Northern Territory ». *Journal of the Royal Anthropological Institute*, Vol. 20, n° 4, pp. 670–693. doi.org/10.1111/1467-9655.12129
- Barton, D. 2011. « Capitalism for the long term ». *Harvard Business Review*, mars 2011. hbr.org/2011/03/capitalism-for-the-long-term
- BAAsD (Banque asiatique de développement). 2016. *Asian Water Development Outlook 2016: Strengthening Water Security in Asia and the Pacific*. Manille, BAAsD. www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2016
- Bastin, J. F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M. et Crowther, T. W. 2019. « The global tree restoration potential ». *Science*, Vol. 365, no 6448, pp. 76–79. doi.org/10.1126/science.aax0848
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. et Palutikof, J. P. (eds). 2008. *Le changement climatique et l'eau*. Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Genève, Secrétariat du GIEC. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-fr.pdf
- Batisha, A. F. 2012. « Hydrology of Nile River basin in the era of climate changes ». *Irrigation and Drainage Systems Engineering* S5:e001.
- Beaulieu, J. J., DelSontro, T. et Downing, J. A. 2019. « Eutrophication will increase methane emissions from lakes and impoundments during the 21st century ». *Nature Communications*, Vol. 10, n° 1375.
- Bellprat, O., Lott, F. C., Gulizia, C., Parker, H. R., Pampuch, L. A., Pinto, I., Ciavarella, A. et Stott, P. A. 2015. « Unusual past dry and wet rainy seasons over Southern Africa and South America from a climate perspective ». *Weather and Climate Extremes*, Vol. 9, pp. 36–46. doi.org/10.1016/j.wace.2015.07.001
- Biofuel. ss.d.a. *Biofuels, Greenhouse Gases, and other Environmental Impacts*. Site Web de Biofuel. biofuel.org.uk/greenhouse-gas-emissions.html
- _____. s.d.b. *Disadvantages of Biofuels*. Site Web de Biofuel. biofuel.org.uk/disadvantages-of-biofuels.html
- Birkmann, J. et Von Teichman, K. 2010. « Integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: Key challenges—scales, knowledge, and norms ». *Sustainability Science*, Vol. 5, pp. 171–84. doi.org/10.1007/s11625-010-0108-y
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Koskela, J. J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K. et

- Živković, N. 2017. « Changing climate shifts timing of European floods ». *Science*, Vol. 357, no 6351, pp. 588–590. doi.org/10.1126/science.aan2506
- Blumenfeld, S., Lu, C., Christophersen, T. et Coates, D. 2009. *Water, Wetlands and Forests: A Review of Ecological, Economic and Policy Linkages*. CBD Technical Series no 47. Montréal, Qué./Gland, Suisse, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (CBD)/Secrétariat de la Convention de Ramsar sur les zones humides. www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-47-en.pdf
- Blunden, J., Arndt, D. S. et Hartfield, G. (eds). 2018. State of the Climate in 2017. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 99, No. 8, pp. Si–S332. doi.org/10.1175/2018BAMSStateoftheClimate.1
- Böhlke, J.-K. 2002. « Groundwater recharge and agricultural contamination ». *Hydrogeology Journal*, Vol. 10, n° 1, pp. 153–179. doi.org/10.1007/s10040-001-0183-3
- Boucher, M., Jackson, T., Mendoza, I. et Snyder, K. 2010. *Public Perception of Windhoek's Drinking Water and its Sustainable Future: A Detailed Analysis of the Public Perception of Water Reclamation in Windhoek, Namibia*. Worcester (Mass.), Worcester Polytechnic Institute (WPI). web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050411-142637/unrestricted/FinalQPRReport.pdf
- Branche, E. 2015. *Le multi-usage de l'eau des réservoirs hydroélectriques – buts multiples*. Paris/Marseille, France, Électricité de France (EdF)/Conseil mondial de l'eau. www.hydroworld.com/content/dam/hydroworld/online-articles/documents/2015/10/MultipurposeHydroReservoirs-SHAREconcept.pdf
- Briceño, S. 2015. « Looking back and beyond Sendai: 25 years of international policy experience on disaster risk reduction ». *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 6, n° 1, pp. 1–7. doi.org/10.1007/s13753-015-0040-y
- Browder, G., Ozment, S., Rehberger Bescos, I., Gartner, T. et Lange, G. M. 2019. *Integrating Green and Grey: Creating Next Generation Infrastructure*. Washington, D.C., Banque mondiale/Institut des ressources mondiales (WRI). www.wri.org/publication/integrating-green-gray
- Brown, C., Werick, W., Leger, W. et Fay, D. 2011. « A decision-analytic approach to managing climate risks: Application to the upper Great Lakes ». *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 47, no 3, pp. 524–534. doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00552.x
- Bryson, J. M., Quick, K. S., Slotterback, C. S. et Crosby, B. C. 2012. « Designing public participation processes ». *Public Administration Review*, Vol. 73, n° 1, pp. 23–34. doi.org/10.1111/j.1540-6210.2012.02678.x
- Burchi, S. 2019. « The future of domestic water law: Trends and developments revisited, and where reform is headed ». *Water International*, Vol. 44, no 3, pp. 258–277. doi.org/10.1080/02508060.2019.1575999
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. et Wiberg, D. 2016. *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. Document de travail IIAAS no WP-16-006. Laxenburg, Autriche, Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIASA). pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf
- Butterworth, J., Warner, J., Moriarty, P., Smits, S. et Batchelor, C. 2010. « Finding practical approaches to Integrated Water Resources Management ». *Water Alternatives*, Vol. 3, n° 1, pp. 68–81.
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F. et Tobon, C. 2011. « Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions ». *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 20, pp. 19–33. doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x
- Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T.C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D. M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T. S., Tilahun, S., Van Hecken, G. et Zhumanova, M. 2014. Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 2, Article 26. doi.org/10.3389/feart.2014.00026
- Buytaert, W., Moulds, S., Acosta, L., De Bièvre, B., Olmos, C., Villacis, M., Tovar, C. et Verbist, K. 2017. « Glacial melt content of water use in the tropical Andes ». *Environmental Research Letters*, Vol. 12, n° 11. doi.org/10.1088/1748-9326/aa926c
- C40 Cities. 2018. *Restoring the flow*. Site Web de C40 Cities. www.c40.org/other/the-future-we-don-t-want-restoring-the-flow
- Cabinet des ministres de l'Ukraine. 2016. *Koncepcija realizaciyi derzhavnoyi polityky u sferi zminy klimatu na period do 2030 roku* [cadre de mise en oeuvre de la politique gouvernementale sur les changements climatiques d'ici 2030]. www.menr.gov.ua/news/32001 (en ukrainien)
- _____. 2017. *Medium-Term Government Priority Action Plan to 2020*. assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/625352/ukraine-government-priority-action-plan-to-2020.pdf
- Cabrera, P., Carta, J. A., González, J. et Melián, G. 2017. « Artificial neural networks applied to manage the variable operation of a simple seawater reverse osmosis plant ». *Desalination*, Vol. 416, n° 15, pp. 140–156. doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.032
- Cain, A. 2017. *Water Resource Management under a Changing Climate in Angola's Coastal Settlements*. Document de travail – octobre 2017. Londres, Institut international pour l'environnement et le développement (IIED). pubs.iied.org/pdfs/10833IIED.pdf
- Calder, R. S. D., Schartup, A. T., Li, M., Valberg, A. P., Balcom, P. H. et Sunderland, E. M. 2016. « Future impacts of hydroelectric power development on methylmercury exposures of Canadian indigenous communities ». *Environmental Science & Technology*, Vol. 50, no 23, pp. 13115–13122. doi.org/10.1021/acs.est.6b04447
- Capehart, M. A. 2015. *Drought Diminishes Hydropower Capacity in Western U.S.* Tucson, Ariz., Centre de recherches sur les ressources en eau, Faculté de l'agriculture & extension coopérative sciences de la vie, Université de l'Arizona. wrcc.arizona.edu/drought-diminishes-hydropower

- Cap-Net UNDP/WaterLex/PNUD-Institut international de l'eau à Stockholm-WGF (Cap-Net PNUD/WaterLex/Programme des Nations Unies pour le développement et Institut international de l'eau à Stockholm-Water Governance Facility)/REDICA. 2017. *Human Rights-Based Approach to Integrated Water Resources Management: Training Manual and Facilitator's Guide*. Rio de Janeiro, Cap-Net PNUD. www.watergovernance.org/wp-content/uploads/2017/01/Cap-Net-WGF-REDICA-WaterLex-2017-HRBA-to-IWRM_Final-Manual.pdf
- Cap-Net UNDP/UNITAR/REDICA/OMM/PNUE-DHI/IHE-Delft (Cap-Net UNDP/Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche/REDICA/Organisation météorologique mondiale/Programme des Nations Unies pour l'environnement-Deutsches Hydrographisches Institut/Institut pour l'éducation relative à l'eau-Delft. 2018. *Climate Change Adaptation and Integrated Water Resources Management*. Cap-Net PNUD. www.cap-net.org/wp-content/uploads/2019/01/Cap-Net-CCA-and-IWRM.pdf
- Carlson, T. et Cohen, A. 2018. « Linking community-based monitoring to water policy: Perceptions of citizen scientists ». *Journal of Environmental Management*, Vol. 219, 2018, pp. 168–177. doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.077
- Carson, A., Windsor, M., Hill, H., Haigh, T., Wall, N., Smith, J., Olsen, R., Bathke, D., Demir, I. et Muste, M. 2018. « Serious gaming for participatory planning of multi-hazard mitigation ». *International Journal of River Basin Management*, Vol. 16, no 3, pp. 379–391. doi.org/10.1080/15715124.2018.1481079
- Carvalho, L., Mackay, E. B., Cardoso, A. C., Baatrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K. L., Borics, G., Borja, A., Feld, C. K., Ferreira, M. T., Globevnik, L., Grizzetti, B., Hendry, S., Hering, D., Kelly, M., Langaas, S., Meissner, K., Panagopoulos, Y., Penning, E., Rouillard, J., Sabater, S., Schmedtje, U., Spears, B. M., Venohr, M., Van de Bund, W. et Lyche Solheim, A. 2019. « Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive ». *Science of the Total Environment*, Vol. 658, pp. 1228–1238. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.25
- CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 2015. *Accord de Paris*. Organisation des Nations Unies. unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf
- _____. 2016. *Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contributions: An Update*. Vingt-deuxième session de la Conférence des Parties. Rapport de synthèse établi par le secrétariat. FCCC/CP/2016/2. Organisation des Nations Unies. unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2016/cop22/fre/02f.pdf
- _____. 2017. Rapport de la Conférence des Parties sur sa vingt-troisième session, tenue à Bonn du 6 au 18 novembre 2017. Additif – Deuxième partie : Mesures prises par la Conférence des Parties à sa vingt-troisième session. Décisions adoptées par la Conférence des Parties. FCCC/CP/2017/11/Add.1.
- _____. 2018. *2018 Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows: Technical Report*. Bonn, Allemagne, CCNUCC.
- _____. 2019. *Marrakesh Partnership Work Programme for 2019–2020*. unfccc.int/climate-action/marrakesh-partnership-for-global-climate-action
- _____. s.d.a. *Lexique des changements climatiques, acronymes et termes*. Site Web de la CCNUCC. unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms
- _____. s.d.b. *Plans nationaux d'adaptation*. Site Web de la CCNUCC. unfccc.int/fr/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/plans-nationaux-d-adaptation
- CDH (Conseil des droits de l'homme). 2011. *Principes directeurs relatifs aux entreprises et aux droits de l'homme : mise en œuvre du cadre de référence « protéger, respecter et réparer » des Nations Unies*. Rapport du Représentant spécial du Secrétaire général chargé de la question des droits de l'homme et des sociétés transnationales et autres entreprises, John Ruggie. Dix-septième session, 21 mars 2011, A/HRC/17/31. undocs.org/fr/A/HRC/17/31
- _____. 2018. *Résolution adoptée par le Conseil des droits de l'homme le 5 juillet 2018. Droits de l'homme et changements climatiques*. Trente-huitième session. A/HRC/RES/38/4. ONU.
- CDKN (Alliance pour le climat et le développement). 2012. *Managing Climate Extremes and Disasters in Africa: Lessons from the IPCC SREX Report*. CDKN. cdkn.org/wp-content/uploads/2012/11/SREX-Lessons-for-Africa-revised-final-copy-1.pdf
- CDP. 2016. *Thirsty Business: Why Water is Vital to Climate Action*. Rapport d'information institutionnel annuel sur l'eau de 2016. Londres, CDP. www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2016
- _____. 2017a. *A Turning Tide: Tracking Corporate Action on Water Security*. Rapport global sur l'eau 2017 de CDP. Londres, CDP. www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2017
- _____. 2017b. *The Carbon Majors Database: CDP Carbon Majors Report 2017*. Londres, CDP. www.cdp.net/en/articles/media/new-report-shows-just-100-companies-are-source-of-over-70-of-emissions
- _____. 2018. *Treading Water: Corporate Responses to Rising Water Challenges*. Rapport global sur l'eau 2018 de CDP. Londres, CDP. www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2018
- _____. s.d. Cities A List. Site Web de CDP. www.cdp.net/en/cities/cities-scores#131739b6dfa66af3342e03d72a84af0e
- CEA/CAPC (Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique/Centre africain pour la politique en matière de climat). 2019. *Climate Research for Development in Africa Programme Strategy (2019–2023)*. Addis Abeba, CEA/CAPC. www.uneca.org/publications/climate-research-development-africa-programme-strategy-2019%E2%80%932023
- CEE (Commission économique pour l'Europe). 1998. *Convention sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement*. Aarhus, Danemark, 25 juin 1998. www.unece.org/env/pp/treatytext.html

- _____. 2009. *Lignes directrices sur l'eau et l'adaptation aux changements climatiques*. Genève, Organisation des Nations Unies. www.unece.org/fr/environmental-policy/conventions/water/envwaterpublicationspub/envwaterpublicationspub74/2009/guidance-on-water-and-adaptation-to-climate-change/lignes-directrices-sur-leau-et-ladaptation-aux-changements-climatiques.html
- _____. 2015. *L'eau et l'adaptation au changement climatique dans les bassins transfrontaliers : Leçons à retenir et bonnes pratiques*. Genève, Organisation des Nations Unies. http://www.unece.org/fr/env/water/climate_change_publication.html
- _____. 2017. *Cost-Benefit Analysis of the Adaptation Measures for the Chu-Talas Basin Based on the Consultations with the Chu-Talas Water Commission and its Dedicated Working Groups within the Project Enhancing Climate Resilience and Adaptive Capacity in the Transboundary Chu-Talas Basin*. Non publié.
- _____. 2018a. *A Nexus Approach to Transboundary Cooperation: The Experience of the Water Convention*. Genève, Organisation des Nations Unies. www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_NONE_12_Nexus/SummaryBrochure_Nexus_Final-rev2_forWEB.pdf
- _____. 2018b. *Progress on Transboundary Water Cooperation under the Water Convention – Report on implementation of the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. New York/Genève, Organisation des Nations Unies. www.unece.org/environmental-policy/conventions/water/envwaterpublicationspub/envwaterpublicationspub74/2018/progress-on-transboundary-water-cooperation-under-the-water-convention/doc.html
- _____. s.d. *Transboundary Cooperation in Chu and Talas River Basin*. Site Web de la CEE. www.unece.org/env/water/centralasia/chutalas.html#c65768
- CEE/Bureau régional de l'OMS pour l'Europe (Commission économique pour l'Europe/Bureau régional de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'Europe). 2011. *Guidance on Water Supply and Sanitation in Extreme Weather Events*. Copenhagen, Bureau régional de l'OMS pour l'Europe. www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0016/160018/WHOGuidanceFVLR.pdf
- CEE/PNUD (Commission économique pour l'Europe/Programme des Nations Unies pour le développement). 2018. *Transboundary Diagnostic Analysis for the Chu-Talas Basin*. Non publié.
- CEE/RIOB (Commission économique pour l'Europe/Réseau international des organismes de bassin). 2015. *L'eau et l'adaptation au changement climatique dans les bassins transfrontaliers : Leçons à retenir et bonnes pratiques*. Genève/Paris, Organisation des Nations Unies/RIOB. www.unece.org/fr/env/water/climate_change_publication.html
- CEE/UNDRR (Commission économique pour l'Europe/Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe). 2018. *Words into Action Guidelines: Implementation Guide for Addressing Water-Related Disasters and Transboundary Cooperation. Integrating Disaster Risk Management with Water Management and Climate Change Adaptation*. Genève, Organisation des Nations Unies. www.unisdr.org/files/61173_ecemp.wat56.pdf
- CEE/UNESCO/ONU-Eau (Commission économique pour l'Europe/Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture/ONU-Eau). 2018. *Progrès de la coopération dans le domaine des eaux transfrontières : Cadre de référence mondial pour l'indicateur 6.5.2 des ODD*. New York/Paris, Organisation des Nations Unies/UNESCO. www.unwater.org/publications/progress-on-transboundary-water-cooperation-652/
- PPIC Water Policy Center (Centre sur les politiques relatives à l'eau du PPIC). 2018. *Storing Water*. Série d'information « California's Water ». Centre sur les politiques relatives à l'eau de l'Institut des politiques publiques de Californie (PPIC). www.ppic.org/wp-content/uploads/californias-water-storing-water-november-2018.pdf
- CEO Water Mandate. 2014. *Driving Harmonization of Water-Related Terminology*. ceowatermandate.org/disclosure/resources/driving/
- CEPALC (Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes). 2018. *Atlas of Migration in Northern Central America*. Santiago, CEPALC. www.cepal.org/en/publications/44288-atlas-migration-northern-central-america
- CESAO (Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale). 2018. *Outcome Document*. Réunion régionale préparatoire relative aux questions de l'eau pour le Forum arabe pour le développement durable et Forum politique de haut niveau de 2018. Beyrouth, 28-29 mars 2018. www.unescwa.org/sites/www.unescwa.org/files/events/files/outcome_document_on_water_issues_for_2018_afsdhlpf_english.pdf
- CESAO/ACSAD/FAO/GIZ/LEA/SMHI/PNU/UNESCO/UNDRR/UNU-INWEH/OMM (Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale/Centre arabe pour l'étude des zones arides et des terres sèches de la Ligue des États arabes/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH/Ligue des États arabes/Institut suédois d'hydrologie et de météorologie/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture/Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe/Institut pour l'eau, l'environnement et la santé/Organisation météorologique mondiale). 2017. *Arab Climate Change Assessment Report – Main Report*. Beyrouth, CESAO. www.unescwa.org/publications/riccar-arab-climate-change-assessment-report
- CESAO/BGR (Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale/Institut fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles). 2013. *Inventory of Shared Water Resources in Western Asia*. CESAO/BGR. waterinventory.org/
- CESAO/OIM (Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale/Organisation internationale pour les migrations). 2017. *2017 Situation Report on International Migration: Migration in the Arab Region and the 2030 Agenda for Sustainable Development*. CESAO/OIM. www.unescwa.org/publications/2017-situation-report-international-migration
- CESAP (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique). 2018. *Dynamique des populations, groupes vulnérables et résilience aux changements climatiques et aux catastrophes*. Note du secrétariat. Examen à mi-parcours de la Déclaration ministérielle Asie-Pacifique sur la population et le développement de la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique, Bangkok, 26-28 novembre 2018. ESCAP/APPC/2018/4. ECOSOC (Conseil économique et social des Nations Unies). www.unescap.org/sites/default/files/ESCAP-APPC-2018-4%20%28FR%29.pdf

- CESAP/BAsD/PNUD (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique/Banque asiatique de développement/Programme des Nations Unies pour le développement). 2018. Transformation towards Sustainable and Resilient Societies in Asia and the Pacific. Bangkok, CESAP/BAsD/PNUD. www.unescap.org/publications/transformation-towards-sustainable-and-resilient-societies-asia-and-pacific
- CESAP/UNESCO/OIT/PNUE/FAO/ONU-Eau (Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique/Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture/Organisation internationale du travail/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/ONU-Eau). 2018. SDG Goal Profile – 6: Clean Water and Sanitation. Ensuring Availability and Sustainable Management of Water and Sanitation for All. CESAP/UNESCO/OIT/PNUE/FAO/ONU-Eau
- Changnon Jr., S. A. 1987. *Detecting Drought Conditions in Illinois*. Circulaire n° 169. État de l'Illinois, Département de l'énergie et des ressources naturelles. Champaign (Ill.), Étude de l'État de l'Illinois sur l'eau. www.isws.illinois.edu/pubdoc/C/ISWSC-169.pdf
- Chanza, N. et De Wit, A. 2016. « Enhancing climate governance through indigenous knowledge: Case in sustainability science ». *South African Journal of Science*, Vol. 112, n° 3/4. doi.org/10.17159/sajs.2016/20140286
- Chapra, S. C., Boehlert, B., Fant, C., Bierman, V. J., Henderson, J., Mills, D., Mas, D. M. L., Rennels, L., Jantarasami, L., Martinich, J., Strzepek, K. M. et Paerl, H. W. 2017. « Climate change impacts on harmful algal blooms in U.S. freshwaters: A screening-level assessment ». *Environmental Science & Technology*, Vol. 51, n° 16, pp. 8933–8943. doi.org/10.1021/acs.est.7b01498
- Chen, Y., Li, J., Ju, W., Ruan, H., Qin, Z., Huang, Y., Jeelani, N., Padarian, J. et Propastin, P. 2017. « Quantitative assessments of water-use efficiency in Temperate Eurasian Steppe along an aridity gradient ». *PLOS One*, Vol. 12, n° 7. e0179875. doi.org/10.1371/journal.pone.0179875
- Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z. et Trenberth, K. E. 2019. « How fast are the oceans warming? » *Science*, Vol. 363, n° 6423, pp. 128–129. doi.org/10.1126/science.aav7619
- ChileAgenda2030. s.d. *Sobre la Agenda de Desarrollo Sostenible [À propos du programme de développement durable]*. www.chileagenda2030.gob.cl/agenda-2030/sobre-la-agenda (en espagnol)
- Chong, T. Y., Noh, N. B. M., Poh, L. S. et Choong, M. T. J. 2018. « A paradigm shift from upstream reservoir to downstream/coastal reservoirs management in Malaysia to meet SDG6 ». *HydroLink*, n° 1, pp. 21–25.
- CIE (Centre for International Economics). 2014. *Analysis of the Benefits of Improved Seasonal Climate Forecasting for Agriculture*. Canberra, CIE. www.climatekelpie.com.au/Files/MCV-CIE-report-Value-of-improved-forecasts-agriculture-2014.pdf
- Cifelli, R., Doesken, N., Kennedy, P., Carey, L. D., Rutledge, S. A., Gimmestad, C. et Depue, T. 2005. « The Community Collaborative Rain, Hail, and Snow Network: Informal education for scientists and citizens ». *Bulletin of The American Meteorological Society*, Vol. 86, pp. 1069–1078. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1069
- CIMM (Conseil international des mines et des métaux). 2013. *Adapting to a Changing Climate: Implications for the Mining and Metals Industry*. Londres, CIMM. www.icmm.com/en-gb/publications/climate-change/adapting-to-a-changing-climate-implications-for-the-mining-and-metals-industry
- Clark, L., Majumdar, S., Bhattacharjee, J. et Hanks, A. C., 2015. « Creating an atmosphere for STEM literacy in the rural South through student-collected weather data ». *Journal of Geoscience Education*, Vol. 63, n° 2, pp. 105–115. doi.org/10.5408/13-066.1
- Climate Bonds Initiative. 2017. *The Water Criteria: Climate Bonds Standard*. Londres, Climate Bonds Initiative. www.climatebonds.net/files/files/CBI-WaterCriteria-02L.pdf
- _____. 2018. *Green Bonds: The State of the Market 2018*. Londres, Climate Bonds Initiative. www.climatebonds.net/resources/reports/green-bonds-state-market-2018
- Closas, A. et Rap, E. 2017. « Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations ». *Energy Policy*, Vol. 104, pp. 33–37. doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.035
- CME (Conseil mondial de l'eau). 2009. *Vulnerability of Arid and Semi-Arid Regions to Climate Change: Impacts and Adaptive Strategies. Perspectives on Water and Climate Change Adaptation*.
- _____. 2018. *Ten Actions for Financing Water Infrastructure*. Marseille, France. CME. www.worldwatercouncil.org/en/publications/ten-actions-financing-water-infrastructure
- CME/GWP (Conseil mondial de l'eau/Partenariat mondial pour l'eau). 2018. *Water Infrastructure for Climate Adaptation: The Opportunity to Scale Up Funding and Financing*. Marseille, France. CME. www.worldwatercouncil.org/en/publications/water-infrastructure-climate-adaptation-opportunity-scale-funding-and-financing
- 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. CME/OCDE. www.worldwatercouncil.org/en/publications/water-fit-finance
- CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement). 2016. *Development and Globalization: Facts and Figures 2016*. Genève, CNUCED. stats.unctad.org/Dgff2016/DGFF2016.pdf
- Coalition for Inclusive Capitalism. s.d. Site Web de Coalition for Inclusive Capitalism. www.inc-cap.com/
- Cogels, F.-X., Fraboulet-Jussila, S. et Varis, O. 2001. « Multipurpose use and water quality challenges in Lac de Guiers (Senegal) ». *Water Science & Technology*, Vol. 44, n° 6, pp. 35–46. doi.org/10.2166/wst.2001.0335

- Coirolo, C. et Rahman, A. 2014. « Power and differential climate change vulnerability among extremely poor people in Northwest Bangladesh: Lessons for mainstreaming ». *Climate and Development*, Vol. 6, n° 4, pp. 336–344. doi.org/10.1080/17565529.2014.934774
- Comité pour l'élimination de la discrimination à l'égard des femmes. 2018. *Recommandation générale no 37 (2018) relative aux aspects liés au genre de la réduction des risques de catastrophe dans le contexte des changements climatiques*. CEDAW/C/GC/37. undocs.org/fr/CEDAW/C/GC/37
- Commission du Mékong. 2016. *Integrated Water Resources Management-Based Basin Development Strategy 2016–2020 for the Lower Mekong Basin*. Vientiane, Commission du Mékong. www.mrcmekong.org/assets/Publications/strategies-workprog/MRC-BDP-strategy-complete-final-02.16.pdf
- _____. 2018. *Mekong Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan*. Vientiane, Commission du Mékong. www.mrcmekong.org/assets/Publications/MASAP-book-28-Aug18.pdf
- Commission européenne. 2018. *Commission Staff Working Document – Evaluation of the EU Strategy on Adaptation to Climate Change – Accompanying the Document: Report from the Commission to the European Parliament and Council on the Implementation of the EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. Bruxelles, Commission européenne. ec.europa.eu/info/sites/info/files/swd_evaluation-of-eu-adaptation-strategy_en.pdf
- _____. s.d. *Water Reuse – An Action Plan within the Circular Economy*. Site Web de la Commission européenne. ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm
- Commission nationale pour le développement et la réforme de Chine. 2013. *The National Plan for Addressing Climate Change (2013–2020)*.
- Conrad, C. C. et Hilchey, K. G. 2011. « A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities ». *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 176, pp. 273–291. doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5
- Conseil national sur le développement urbain et rural. 2014. *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: Nuestra Guatemala 2032* [Plan national de développement de K'atun : notre Guatemala 2032]. Guatemala. www.undp.org/content/dam/guatemala/docs/publications/undp_gt_PND_Katun2032.pdf (en espagnol)
- Conseil national sur les changements climatiques. 2016. *Plan de acción nacional de cambio climático. En cumplimiento del Decreto 7-2013 del Congreso de la Republica* [Plan national d'action contre les changements climatiques. En vertu du décret 7-2013 du Congrès de la République]. Guatemala. sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Accio%CC%81n-Nacional-de-Cambio-Clima%CC%81tico-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf (en espagnol)
- Convention de Ramsar sur les zones humides. 2018. *Perspectives mondiales des zones humides : L'état mondial des zones humides et de leurs services à l'humanité 2018*. Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention de Ramsar. www.global-wetland-outlook.ramsar.org/s/Ramsar-GWO_FRENCH_WEB-2019UPDATE-2atf.pdf
- Conway, D., Van Garderen, E. A., Deryng, D., Dorling, S., Krueger, T., Landman, W., Lankford, B., Lebek, K., Osborn, T., Ringler, C., Thurlow, J., Zhu, T. and Thurlow, J. 2015. Climate and southern Africa's water–energy–food nexus. *Nature Climate Change*, Vol. 5, No. 9, pp. 837–846. doi.org/10.1038/nclimate2735
- Conway, D., Dalin, C., Landman, W. A. et Osborn, T. J. 2017. « Hydropower plans in eastern and southern Africa increase risk of concurrent climate-related electricity supply disruption ». *Nature Energy*, Vol. 2, n° 12, pp. 946–953. doi.org/10.1038/s41560-017-0037-4
- Cools, J., Innocenti, D. et O'Brien, S. 2016. « Lessons from flood early warning systems ». *Environmental Science & Policy*, Vol. 58, pp. 117–122. doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.006
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. et Savelli, H. (eds). 2010. *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development: A Rapid Response Assessment*. Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat/GRID-Arendal). www.grida.no/publications/218
- Corsi, S. 2019. *Conservation Agriculture: Training Guide for Extension Agents and Farmers in Eastern Europe and Central Asia*. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). www.fao.org/3/i7154en/i7154en.pdf
- Coughlan de Perez, E., Van den Hurk, B., Van Aalst, M. K., Amuron, I., Bamanya, D., Hauser, T., Jongma, B., Lopez, A., Mason, S., De Suarez, J. M., Pappenberger, F., Rueth, A., Stephens, E., Suarez, P., Wagemaker, J. et Zsoter, E. 2016. « Action-based flood forecasting for triggering humanitarian action ». *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 20, pp. 3549–3560. doi.org/10.5194/hess-20-3549-2016
- CPI (Climate Policy Initiative). 2018. *Global Climate Finance: An Updated View 2018*. CPI. climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2018/11/Global-Climate-Finance_-An-Updated-View-2018.pdf
- CRED/UNDDR (Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes/Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes). 2015. *The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015*. Genève/Bruxelles, CRED/UNDDR. www.unisdr.org/we/inform/publications/46796
- CRIDF (Climate Resilient Infrastructure Development Facility). 2018. *What Services can CRIDF offer you?* CRIDF brief No. 2. Pretoria, CRIDF. cridf.net/RC/wp-content/uploads/2018/04/Extlib10.pdf
- CRS (Service de recherche du Congrès). 2018. *Freshwater Harmful Algal Blooms: Causes, Challenges, and Policy Considerations*. Rapport du CRS préparé par les Membres et les Comités du Congrès des États-Unis d'Amérique, R44871. Washington, CRS. crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44871

- Crump, J. (ed). 2017. *Smoke on Water – Countering Global Threats from Peatland Loss and Degradation. A UNEP Rapid Response Assessment*. Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat/GRID-Arendal). www.grida.no/publications/355
- CSAG (Climate Systems Analysis Group). s.d. *Big Six Monitor*. Université de Cape Town. cip.csag.uct.ac.za/monitoring/bigsix.html
- Cumiskey, L., Werner, M., Meijer, K., Fakhruddin, S. H. M. et Hassan, A., 2015. « Improving the social performance of flash flood early warnings using mobile services ». *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Vol. 6, n° 1, pp. 57–72. doi.org/10.1108/IJDRBE-08-2014-0062
- Cuthbert, M. O., Taylor, R. G., Favreau, G., Todd, M. C., Shamsudduha, M., Villholth, K. G., MacDonald, A. M., Scanlon, B. R., Kotchoni, D. O. V., Vouillamoz, J.-M., Lawson, F. M. A., Adjomayi, P. A., Kashaigili, J., Seddon, D., Sorensen, J. P. R., Ebrahim, G. Y., Owor, M., Nyenje, P. M., Nazoumou, Y., Goni, I., Ousmane, B. I., Sibanda, T., Ascott, M. J., Macdonald, D. M. J., Agyekum, W., Koussoubé, Y., Wanke, H., Kim, H., Wada, Y., Lo, M.-H., Oki, T. et Kukuric, N. 2019. « Observed controls on resilience of groundwater to climate variability in sub-Saharan Africa ». *Nature*, n° 572, pp. 230–234. doi.org/10.1038/s41586-019-1441-7
- Da Silva, S. R. S., McJeon, H. C., Miralles-Wilhelm, F., Muñoz Castillo, R., Clarke, L., Delgado, A., Edmonds, J. A., Hejazi, M., Horing, J., Horowitz, R., Kyle, P., Link, R., Patel, P. et Turner, S. 2018. *Energy–Water–Land Nexus in Latin America and the Caribbean: A Perspective from the Paris Agreement Climate Mitigation Pledges*. IDB Working Paper Series no IDB-WP-00901. Banque interaméricaine de développement (BID). publications.iadb.org/en/energy-water-land-nexus-latin-america-and-caribbean-perspective-paris-agreement-climate-mitigation
- Dam Removal Europe. s.d. *Mapping Dams in European Rivers. Site Web de Dam Removal Europe*. damremoval.eu/dam-removal-map-europe/
- Das Gupta, M. 2013. *Population, Poverty, and Climate Change*. Policy Research Working Paper no 6631. Washington, D.C., Banque mondiale. documents.worldbank.org/curated/en/116181468163465130/Population-poverty-and-climate-change
- Das, M.B. 2017. *The Rising Tide: A New Look at Water and Gender*. Washington, D.C., Groupe de la Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27949
- Davison, H. 2017. *Flood Early Warning Systems Leave Women Vulnerable*. Site Web de GlacierHub. glacierhub.org/2017/02/09/flood-early-warning-systems-leave-women-vulnerable/
- Dazé, A., Price-Kelly, H. et Rass, N. 2016. *Vertical Integration in National Adaptation Plan (NAP) Processes: A Guidance Note for Linking National and Sub-National Adaptation Processes*. Winnipeg, Ont., Institut international du développement durable (IIDD). www.iisd.org/library/vertical-integration-national-adaptation-plan-nap-processes-guidance-note
- De Fraiture, C., Giordano, M. et Liao, Y. 2008. « Biofuels and implications for agricultural water use: Blue impacts of green energy ». *Water Policy*, Vol. 10, n° S1, pp. 67–81. doi.org/10.2166/wp.2008.054
- De Klein, J. J. M. et Van der Werf, A. K. 2014. « Balancing carbon sequestration and GHG emissions in a constructed wetland ». *Ecological Engineering*, Vol. 66, pp. 36–42. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.060
- Deemer, B. R., Harrison, J. A., Siyue, L., Beaulieu, J. J., DelSontro, T., Barros, N., Bezerra-Neto, J. F., Powers, S. M., Dos Santos, M. A. et Vonk, J. A. 2016. « Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A new global synthesis ». *BioScience*, Vol. 66, n° 11, pp. 949–964. doi.org/10.1093/biosci/biw117
- Demir, I., Yildirim, E., Sermet, Y. et Sit, M. A. 2018. « FLOODSS: Iowa flood information system as a generalized flood cyberinfrastructure ». *International Journal of River Basin Management*, Vol. 16, n° 3, pp. 393–400. doi.org/10.1080/15715124.2017.1411927
- Département de la planification et de l'environnement du Gouvernement de Nouvelle-Galles du Sud. 2017. *State Significant Development Assessment, Springvale Water Treatment Project (SSD 7592)*. Département de la planification et de l'environnement de Nouvelle-Galles du Sud. majorprojects.planningportal.nsw.gov.au/prweb/PRRestService/mp/01/getContent?AttachRef=SSD-7592%2120190227T234230.096%20GMT
- DESA (Département des affaires économiques et sociales) de l'Organisation des Nations Unies. 2018. *The World's Cities in 2018. Data Booklet*. New York, Organisation des Nations Unies. www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf
- _____. 2019. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. ST/ESA/SER.A/420*. New York, Organisation des Nations Unies. population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf
- Desbureaux, S. et Rodella, A. S. 2019. « Drought in the city: The economic impact of water scarcity in Latin American metropolitan areas ». *World Development*, Vol. 114, pp. 13–27. doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.026
- De Vries, T. T., Anwar, A. A. et Bhatti, M. T. 2017. « Canal operations planner. III: Minimizing inequity with delivery performance ratio relaxation ». *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 143, n° 9. [doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001218](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001218)
- Dickinson, J. L., Shirk, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R. L., Martin, L., Phillips, T. et Purcell, K., 2012. « The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement ». *Frontiers in Ecology and Environment*, Vol. 10, n° 6, pp. 291–297. doi.org/10.1890/110236
- Dieter, C. A., Maupin, M. A., Caldwell, R. R., Harris, M. A., Ivahnenko, T. I., Lovelace, J. K., Barber, N. L. et Linsey, K. S. 2018. *Estimated Use of Water in the United States in 2015*. Circulaire n° 1441 du Service géologique des Etats-Unis (USGS). Reston, Va. doi.org/10.3133/cir1441
- Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R. D. G., Jain, R. C., Bear, J., Schwarz, J., Wang, W., Fernandez, E., Stefan, C., Pettenati, M., Van der Gun, J., Sprenger, C., Massmann, G., Scanlon, B. R., Xanke, J., Jokela, P., Zheng, Y., Rossetto, R., Shamruk, M., Pavelic, P., Murray, E., Ross, A., Bonilla Valverde, J. P., Palma Nava, A., Ansems, N., Posavec, K., Ha, K., Martin, R. et Sapiano, M. 2018. « Sixty years of global progress in managed aquifer recharge ». *Hydrogeology Journal*, Vol. 27, pp. 1–30. doi.org/10.1007/s10040-018-1841-z

- Dodds, W. K., Bouska, W. W., Eitzmann, J. L., Pilger, T. J., Pitts, K. L., Riley, A. J., Schloesser, J. T. et Thornbrugh, D. J. 2009. « Eutrophication of US freshwaters: Analysis of potential economic damages ». *Environmental Science and Technology*, Vol. 43, n° 1, pp. 12–19. doi.org/10.1021/es801217q
- Dong, F., Wang, Y., Su, B., Hua, Y. et Zhang, Y. 2019. « The process of peak CO₂ emissions in developed economies: A perspective of industrialization and urbanization ». *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 141, pp. 61–75. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.010
- Doornbosch, R. et Steenblik, R. 2007. *Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease?* Table ronde sur le développement durable, 11-12 septembre 2007, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). www.oecd.org/sd-roundtable/39411732.pdf
- Drechsel, P., Danso, G. K. et Qadir, M. 2018. « Growing opportunities for Mexico City to tap into the Tula aquifer (Mexico) ». Otoo, M. et Drechsel, P. (eds), *Resource Recovery from Waste: Business Models for Energy, Nutrient and Water Reuse in Low- and Middle-income Countries*. New York, Routledge, pp. 698–709.
- Drechsel, P., Qadir, M. et Wichelns, D. 2015. *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Dordrecht, Pays-Bas, Springer.
- Du Pisani, P., Menge, J., Van der Merwe, B. et Van Rensburg, P. 2018. Documents présentés à la Conférence des 50 ans de la réutilisation directe de l'eau potable, Windhoek. documents.windhoekcc.org.na/
- Eakin, H. et Luers, A. L. 2006. « Assessing the vulnerability of social-environmental systems ». *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 31, pp. 365–394. doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144352
- EarthWatch Institute. s.d. *Freshwater Watch: Understanding our Precious Water*. Site Web d'Earthwatch Institute. earthwatch.org.uk/working-with-business/2-uncategorised/54-freshwater-watch
- EASAC (European Academies' Science Advisory Council). 2018. *Extreme Weather Events in Europe: Preparing for Climate Change Adaptation: An Update on EASAC's 2013 Study*. easac.eu/publications/details/extreme-weather-events-in-europe/
- ECOSOC (Conseil économique et social). 2018. *The UNDS Revamped Regional Approach. UNDS Repositioning – Explanatory Note #11*. New York, Conseil économique et social. www.un.org/ecosoc/sites/www.un.org/ecosoc/files/files/en/qcpr/11_%20The%20Regional%20Approach.pdf
- Eekhout, J. P. C. et De Vente, J. 2019. « Assessing the effectiveness of Sustainable Land Management for large-scale climate change adaptation ». *Science of The Total Environment*, Vol. 654, pp. 85–93. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.350
- Eekhout, J. P. C., Hunink, J. E., Terink, W. et De Vente, J. 2018. « Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security ». *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 22, n° 11, pp. 5935–5946. doi.org/10.5194/hess-22-5935-2018.
- El Din, E. S., Zhang, Y. et Suliman, A. 2017. « Mapping concentrations of surface water quality parameters using a novel remote sensing and artificial intelligence framework ». *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 38, n° 4, pp. 1023–1042. doi.org/10.1080/01431161.2016.1275056
- Elliott, J., Deryng, D., Müller, C., Frieler, K., Konzmann, M., Gerten, D., Glotter, M., Flörke, M., Wada, Y., Best, N., Eisner, S., Fekete, B. M., Folberth, C., Foster, I., Gosling, S. N., Haddeland, I., Khabarov, N., Ludwig, F., Masaki, Y., Olin, S., Rosenzweig, C., Ruane, A. C., Satoh, Y., Schmid, E., Stacke, T., Tang, Q. et Wisser, D. 2014. « Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 111, no 9, pp. 3239–3244. doi.org/10.1073/pnas.1222474110
- Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarsa, D., Gutierrez, V., Van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Bargaés Tobella, A., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y. et Sullivan, C. A. 2017. « Trees, forests and water: Cool insights for a hot world ». *Global Environmental Change*, Vol. 43, pp. 51–61. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002
- Elshamy, M. E., Sayed, M. A.-A. et Badawy, B. 2009. « Impacts of climate change on the Nile flows at Dongola using statistical downscaled GCM scenarios ». *Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine*, Vol. 2.
- EM-DAT (Base de données sur les situations d'urgence). 2019. Base de données sur les situations d'urgence. Bruxelles, Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED). Université catholique de Louvain. www.emdat.be
- Emmerton, R. E., Stephens, E. M., Pappenberger, F., Pagano, T. C., Weerts, A. H., Wood, A. W., Salamon, P., Brown, J. D., Hjerdt, N., Donnelly, C., Baugh, C. A. et Cloke, H. L. 2016. « Continental and global scale flood forecasting systems ». *Wiley International Reviews: Water*, Vol. 3, pp. 391–418. doi.org/10.1002/wat2.1137
- ENVSEC/CEE/OSCE (Initiative Environnement et Sécurité/Commission économique pour l'Europe/Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe). 2017. *Implementation Plan for the Strategic Framework for Adaptation to Climate Change in the Dniester River*. Genève/Kiev/Chisinau/Vienne, ENVSEC/CEE/OSCE. www.osce.org/secretariat/366721?download=true.
- Évaluation Globale de la Gestion de l'Eau en Agriculture. 2008. *L'eau pour l'alimentation, l'eau pour la vie : Évaluation globale de la gestion de l'eau en agriculture. Résumé*. Londres/Colombo, Earthscan/Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_French.pdf
- Eurostat. 2017. *Farmers in the EU – Statistics*. Système statistique européen. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Farmers_in_the_EU_-_statistics.
- Evers, J. et Pathirana, A. 2018. « Adaptation to climate change in the Mekong River Basin: Introduction to the special issue ». *Climatic Change*, Vol. 149, n° 1, pp. 1–11.

- Falkenmark, M., Lundqvist, J. et Widstrand, C. L. 1989. « Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches ». *Natural Resources Forum*, Vol. 13, n° 4, pp. 258–267. doi.org/10.1111/j.1477-8947.1989.tb00348.x
- Famiglietti, J. S. 2014. « The global groundwater crisis ». *Nature Climate Change*, Vol. 4, pp. 945–948. doi.org/10.1038/nclimate2425
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2002. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2002*. Rome, FAO. www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/2B_f.pdf
- _____. 2010. *The Wealth of Waste: The Economics of Wastewater Use in Agriculture*. FAO Water Reports n° 35. Rome, FAO. www.fao.org/3/i1629e/i1629e.pdf
- _____. 2011a. *L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde : Gérer les systèmes en danger*. Londres/Rome, Earthscan/FAO. www.fao.org/nr/solaw/accueil-solaw/fr/
- _____. 2011b. *Climate Change, Water and Food security*. FAO Water Reports n° 36. Rome, FAO. www.fao.org/3/i2096e/i2096e.pdf
- _____. 2013a. *Faire face à la pénurie d'eau : Un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire*. FAO Water Reports n° 38. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i3015f.pdf
- _____. 2013b. *Food Wastage Footprint Impacts on Natural Resources: Summary Report*. Rome, FAO. www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf
- _____. 2014. *Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative*. Environment and Natural Resources Management Working Paper n° 58. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i3959e.pdf
- _____. 2015a. *Climate Change and Food Systems: Global Assessments and Implications for Food Security and Trade*. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i4332e.pdf
- _____. 2015b. *The Economic Lives of Smallholder Farmers: An Analysis Based on Household Data from Nine Countries*. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i5251e.pdf
- _____. 2016a. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 – Comment les forêts de la planète changent-elles ?* Deuxième édition. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i4793f.pdf
- _____. 2016b. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i6030f.pdf
- _____. 2017a. *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. Rome, FAO. www.fao.org/3/a-i6583e.pdf
- _____. 2017b. *What is Climate-Smart Agriculture?* Infographie FAO. www.fao.org/3/a-i7926e.pdf
- _____. 2017c. *Does Improved Irrigation Technology Save Water? A Review of the Evidence*. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa. Le Caire, FAO. www.fao.org/3/I7090EN/i7090en.pdf
- _____. 2018a. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2018 : Migrations, agriculture et développement rural*. Rome, FAO. www.fao.org/3/I9549FR/i9549fr.pdf
- _____. 2018b. *2017: The Impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security*. Rome, FAO. www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf
- _____. 2018c. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018 : Atteindre les Objectifs de développement durable*. Rome, FAO. www.fao.org/publications/card/en/c/I9540FR
- _____. 2018d. *Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture: Synthesis of Current Knowledge, Adaptation and Mitigation Options*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf
- _____. 2018e. *La situation des forêts du monde 2018 : Les forêts au service du développement durable*. Rome, FAO. www.fao.org/documents/card/en/c/I9535FR
- _____. 2019. *FAO Framework on Rural Extreme Poverty: Towards Reaching Target 1.1 of the Sustainable Development Goals*. Rome, FAO. www.fao.org/3/ca4811en/ca4811en.pdf
- _____. s.d.a. *L'agriculture intelligente face au climat*. Site Web de la FAO. www.fao.org/climate-smart-agriculture/fr/
- _____. s.d.b. *Agriculture de conservation*. Site Web de la FAO. www.fao.org/conservation-agriculture/fr/
- FAO-AQUASTAT/Universität Bonn. 2013. *Carte mondiale des superficies d'irrigation*. FAO. www.fao.org/aquastat/fr/geospatial-information/global-maps-irrigated-areas/latest-version
- FAO/FIDA/UNICEF/PAM/OMS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Fonds international de développement agricole/Fonds des Nations Unies pour l'enfance/Programme alimentaire mondial/Organisation mondiale de la Santé). 2018. *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde : Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome, FAO. www.fao.org/3/i9553fr/i9553fr.pdf
- FAO/GIZ (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH). 2018. *The Benefits and Risks of Solar-Powered Irrigation: A Global Overview*. Rome, FAO. www.fao.org/3/i9047en/i9047EN.pdf
- FAO/GIZ/ACSAD (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH/Centre arabe pour l'étude des zones arides et des terres sèches). 2017. *Climate Change and Adaptation Solutions for the Green Sectors in the Arab Region*. FAO/GIZ/ACSAD.

- FAO/Groupe de la Banque mondiale (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Groupe de la Banque mondiale). 2018. *Water Management in Fragile Systems: Building Resilience to Shocks and Protracted Crises in the Middle East and North Africa*. Cairo. Rome/Washington, D.C., FAO/Groupe de la Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30307
- FAO/IWMI (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Institut international de gestion des ressources en eau). 2018. *More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture*. Rome/Colombo, FAO/IWMI. www.fao.org/3/ca0146en/CA0146EN.pdf
- FAOSTAT. s.d. *Données de l'alimentation et de l'agriculture*. FAO. www.fao.org/faostat/fr/#home
- FEM (Fonds pour l'environnement mondial). s.d. *Climate Change*. Site Web du FEM. www.thegef.org/topics/climate-change
- Fiebrich, C. A. 2009. « History of surface weather observations in the United States ». *Earth-Science Reviews*, Vol. 93, n° 3–4, pp. 77–84. doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.01.001
- Finger, M. et Allouche, J. 2002. *Water Privatisation: Trans-National Corporations and the Re-Regulation of the Water Industry*. Londres, Spon Press.
- Fitzgerald, S. H. 2018. « The role of constructed wetlands in creating water sensitive cities ». Nagabhatla, N. et Metcalfe, C. D. (eds), *Multifunctional Wetlands: 2018 Pollution Abatement and Other Ecological Services from Natural and Constructed Wetlands*. Springer Publications. Springer International Publishing.
- Flörke, M., Schneider, C. et McDonald, R. I. 2018. « Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth ». *Nature Sustainability*, Vol. 1, n° 1, pp. 51–58. doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8
- FMI (Fonds monétaire international). 2019. *Grenada Climate Change Policy Assessment*. IMF Country Report N° 19/193. Washington, D.C., FMI. www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2019/07/01/Grenada-Climate-Change-Policy-Assessment-47062
- Fonds pour l'adaptation. 2019. *Adaptation Fund Board Approves New Projects and Advances Transition Process to Serve Paris Agreement Smoothly*. Communiqué de presse, 21 mars 2019. Site Web du Fonds pour l'adaptation. www.adaptation-fund.org/adaptation-fund-board-approves-new-projects-advances-transition-process-serve-paris-agreement-smoothly/
- Fonds vert pour le climat. 2018. *Project FP016*. Site Web du Fonds vert pour le climat. www.greenclimate.fund/projects/fp016
- _____. s.d. *What We Do*. Site Web du Fonds vert pour le climat. www.greenclimate.fund/what-we-do/
- Fonseca, C. et Pories, L. 2017. *Financing WASH: How to Increase Funds for the Sector while Reducing Inequalities*. Position paper for the Sanitation and Water for All Finance Ministers Meeting. Note de synthèse. La Haye, Pays-Bas, IRC/water.org/Ministère des affaires étrangères/Simavi. www.ircwash.org/resources/financing-wash-how-increase-funds-sector-while-reducing-inequalities-position-paper
- Foresight. 2011. *Migration and Global Environmental Change: Future Challenges and Opportunities*. Final Project Report. Londres, Government Office for Science. assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf
- FPHN (Forum politique de haut niveau). 2018. *President's Summary of the 2018 High-Level Political Forum on Sustainable Development*. United Nations Sustainable Development Goals Knowledge Platform. sustainabledevelopment.un.org/content/documents/205432018_HLPF_Presidents_summary_FINAL.pdf
- _____. 2019. *Déclaration politique issue du forum politique de haut niveau pour le développement durable organisé sous les auspices de l'Assemblée générale*. A/HLPF/2019/L.1. Assemblée générale des Nations Unies. undocs.org/fr/A/HLPF/2019/L.1
- Franks, T. et Cleaver, F. 2007. « Water governance and poverty: A framework for analysis ». *Progress in Development Studies*, Vol. 7, n° 4, pp. 291–306. doi.org/10.1177/146499340700700402
- Freyberg, T. 2016. « Denmark kick-starts energy-positive wastewater treatment project ». *WaterWorld Magazine*, Vol. 32, n° 2. www.waterworld.com/international/utilities/article/16202924/denmark-kickstarts-energypositive-wastewater-treatment-project
- Friedrich, K., Grossman, R. L., Huntington, J., Blanken, P. D., Lenters, J., Holman, K. D., Gochis, D., Livneh, B., Prairie, J., Skeie, E., Healey, N. C., Dahm, K., Pearson, C., Finnessey, T., Hook, S. J. et Kowalski, T. 2018. « Reservoir evaporation in the western United States: Current science, challenges, and future needs ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 99, pp. 167–187. doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00224.1
- Funk, C., Davenport, F., Harrison, L., Magadzire, T., Galu, G., Artan, G. A., Shukla, S., Korecha, D., Indeje, M., Pomposi, C., Macharia, D., Husak, G. et Nsadisa, F. D. 2018. « Anthropogenic enhancement of moderate-to-strong El Niño events likely contributed to drought and poor harvests in southern Africa during 2016 ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 99, n° 1, pp. S91–S95. doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0112.1
- Gadédjisso-Tossou, A., Avellán, T. et Schütze, N. 2018. « Potential of deficit and supplemental irrigation under climate variability in northern Togo, West Africa ». *Water*, Vol. 10, n° 12, pp. 1–23. doi.org/10.3390/w10121803
- Gallego-Sala, A. V., Charman, D. J., Brewer, S., Page, S. E., Prentice, I. C., Friedlingstein, P., Moreton, S., Amesbury, M. J., Beilman, D. W., Björck, S., Blyakharchuk, T., Bochicchio, C., Booth, R. K., Bunbury, J., Camill, P., Carless, D., Chimner, R. A., Clifford, M., Cressey, E., Courtney-Mustaphi, C., De Vleeschouwer, F., De Jong, R., Fialkiewicz-Kozziel, B., Finkelstein, S. A., Garneau, M., Githumbi, E., Hribljan, J., Holmquist, J., Hughes, P. D. M., Jones, C., Jones, M. C., Karofeld, E., Klein, E. S., Kokfelt, U., Korhola, A., Lacourse, T., Le Roux, G., Lamentowicz, M., Large, D., Lavoie, M., Loisel, J., Mackay, H., MacDonald, J. M., Makila, M., Magnan, G., Marchant, R., Marcisz, K., Martínez Cortizas, A., Massa, C., Mathijssen, P., Mauquoy, D., Mighall, T., Mitchell, F. J. G., Moss, P., Nichols, J., Oksanen, P. O., Orme, L., Packalen, M. S., Robinson, S., Roland, T. P., Sanderson, N. K., Sannel, A. B. K., Silva-Sánchez, N., Steinberg, N., Swindles, G. T., Turner, T. E., Ugulow, J., Väliranta, M., Van Bellen, S., Van der Linden, M., Van Geel, B., Wang, G., Yu, Z., Zaragoza-Castells, J. et Zhao, Y. 2018. « Latitudinal limits to the predicted increase of the peatland carbon sink with warming ». *Nature Climate Change*, Vol. 8, n° 10, pp. 907–913. doi.org/10.1038/s41558-018-0271-1

- Gan, T. Y., Ito, M., Hülsmann, S., Qin, X., Lu, X. X., Liong, S. Y., Rutschman, P., Disse, M. et Koivusalo, H. 2016. « Possible climate change/variability and human impacts, vulnerability of drought-prone regions, water resources and capacity building for Africa ». *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 61, n° 7, pp. 1209–1226. doi.org/10.1080/02626667.2015.1057143
- Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Ding, W., Chen, B. et Li, Z. 2019. « Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis ». *Science of the Total Environment*, Vol. 651, Partie 1, pp. 484–492. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.105
- García, L. E., Matthews, J. H., Rodriguez, D. J., Wijnen, M., DiFrancesco, K. N. et Ray, P. 2014. *Beyond Downscaling: A Bottom-Up Approach to Climate Adaptation for Water Resources Management*. Washington, D.C., Groupe de la Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21066 IGO
- Gariano, S. L. et Guzzetti, F. 2016. « Landslides in a changing climate ». *Earth-Science Reviews*. Vol. 162, pp. 227–252. doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011
- Garrick, D. E., Hall, J. W., Dobson, A., Damania, R., Grafton, R. Q., Hope, R., Hepburn, C., Bark, R., Boltz, F., De Stefano, L., O'Donnell, E., Matthews, N. et Money, A. 2017. « Valuing water for sustainable development ». *Science*, Vol. 358, n° 6366, pp. 1003–1005. doi.org/10.1126/science.aao4942
- Gato, S., Jayasuriya, N. et Roberts, P. 2007. « Temperature and rainfall thresholds for base use urban water demand modelling ». *Journal of Hydrology*, Vol. 337, n° 3 et 4, pp. 364–376. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.014
- GCA (Commission mondiale sur l'adaptation). 2019. *Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience*. Rotterdam/Washington, D.C., Pays-Bas/États-Unis, Global Center on Adaptation/World Resources Institute (GCA/WRI). cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. et Tempio, G. 2013. *Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage : Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial*. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). www.fao.org/3/a-i3437f.pdf
- Gersonius, B., Van Buuren, A., Zethof, M. et Kelder, E. 2016. « Resilient flood risk strategies: institutional preconditions for implementation ». *Ecology and Society*, Vol. 21, n° 4, p. 28. doi.org/10.5751/ES-08752-210428
- Gheuens, J., Nagabhatla, J. et Perera, E. D. P. 2019. « Disaster-risk, water security challenges and strategies in Small Island Developing States (SIDS) ». *Water*, Vol. 11, n° 4, p. 637. doi.org/10.3390/w11040637.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2012. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. New York, Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/
- _____. 2014a. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge/New York, Royaume-Uni/USA, Cambridge University Press. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf
- _____. 2014b. *Annexe II : Glossaire* [Mach, K. J., Planton, S. et von Stechow, C. (eds)]. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, GIEC. pp. 117–130. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5_SYR_Glossary_fr.pdf
- _____. 2014c. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, GIEC. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf
- _____. 2014d. *Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge/New York, Royaume-Uni/USA. Cambridge University Press. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf
- _____. 2018a. *Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genève, GIEC. www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/
- _____. 2018b. *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. GIEC. www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/07/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf
- _____. 2019a. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Genève, GIEC. www.ipcc.ch/srocc/
- _____. 2019b. *Climate Change and Land*. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. GIEC. www.ipcc.ch/srcccl-report-download-page/
- _____. 2019c. *Summary for Policymakers. Climate Change and Land*. Rapport spécial du GIEC. Genève, GIEC. www.ipcc.ch/report/srcccl/
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P. et Van Beek, L. P. 2012. « Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint ». *Nature*, Vol. 9, n° 488, pp. 197–200. doi.org/10.1038/nature11295

- Golding, B. W. 2009. « Long lead time flood warnings: Reality or fantasy? » *Meteorological Applications*, Vol. 16, pp. 3–12. doi.org/10.1002/met.123
- Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., De Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. et Volken, D. 2010. *Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project*. Rapport du CHR, I-23. Lelystad, Pays-Bas, Commission internationale de l'hydrologie du bassin du Rhin. www.chr-khr.org/en/publication/assessment-climate-change-impacts-discharge-river-rhine-basin-results-rheinblick2050
- Gosling, S. N. et Arnell, N. W. 2016. « A global assessment of the impact of climate change on water scarcity ». *Climatic Change*, Vol. 134, no 3, pp. 371–385. doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x.
- Gouvernement de Grenade. 2014. *Grenada's Growth and Poverty Reduction Strategy (GPRS), 2014-2018*. www.gov.gd/egov/docs/other/ggprs-2014-2018-final.pdf.
- _____. 2017. *National Climate Change Adaptation Plan (NAP) for Grenada, Carriacou and Petite Martinique 2017-2021*. St. George's, Ministère de la résilience aux changements climatiques, de l'environnement, des forêts, de la pêche, de la gestion des catastrophes et de l'information. www.gov.gd/egov/docs/other/Grenada-National-Adaptation-Plan-2017.pdf
- Gouvernement de la République populaire du Bangladesh. 2015. *Seventh Five-Year Plan FY2016–FY2020: Accelerating Growth, Empowering Citizens*. Dhaka, Division de l'économie générale de la Commission de planification du Bangladesh. www.unicef.org/bangladesh/sites/unicef.org.bangladesh/files/2018-10/7th_FYP_18_02_2016.pdf
- Gouvernement de la République d'Inde/Gouvernement de la République populaire du Bangladesh. 1996. *Treaty between the Government of the Republic of India and the Government of the People's Republic of Bangladesh on Sharing of the Ganga/Ganges Waters at Farakka*.
- Grafton, R. Q. et Wheeler, S. A. 2018. « Economics of water recovery in the Murray-Darling Basin, Australia ». *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 10, n° 1, pp. 487–510. doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023039
- Grangier, C., Qadir, M. et Singh, M. 2012. « Health implications for children in wastewater-irrigated peri-urban Aleppo, Syria ». *Water Quality, Exposure and Health*, Vol. 4, pp. 187–195. doi.org/10.1007/s12403-012-0078-7
- Grant, G. E. et Lewis, S. L. 2015. « The remains of the dam: What have we learned from 15 years of US dam removals? » Lollino, G., Arattano, M. et Rinaldi, M. (eds), *Engineering Geology for Society and Territory: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources*. Suisse, Springer International Publishing.
- Green Bank Network. 2018. *Green Banks around the Globe: 2018 Year in Review*. Green Bank Network. greenbanknetwork.org/portfolio/2018-year-in-review/
- Green, T., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Hiscock, K., Allen, D., Treidel, H. et Aurelia, A. 2011. « Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater ». *Journal of Hydrology*, Vol. 405, pp. 532–560. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.002
- GRIPP (Groundwater Solutions Initiative for Policy and Practice). s.d. *Groundwater-Based Natural Infrastructure (GBNI)*. Site Web de GRIPP. gripp.iwmi.org/natural-infrastructure/
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S. M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F. E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E. et Fargione, J. 2017. « Natural climate solutions ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 114, n° 44, pp. 11645–11650. doi.org/10.1073/pnas.1710465114
- Groupe de scientifiques indépendant nommé par le Secrétaire général. 2019. *The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development: Global Sustainable Development Report 2019*. New York, Organisation des Nations Unies. sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf
- Guo, J., Ma, F., Qu, Y., Li, A. et Wang, L. 2012. « Systematical strategies for wastewater treatment and the generated wastes and greenhouse gases in China ». *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, Vol. 6, n° 2, pp. 271–279. doi.org/10.1007/s11783-011-0328-0
- GWP (Partenariat mondial pour l'eau). 2018a. *Climate Insurance and Water-Related Disaster Risk Management – Unlikely Partners in Promoting Development?* Perspectives Paper. Stockholm, GWP. www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/11_climate_insurance_perspectives_paper.pdf
- _____. 2018b. *Preparing to Adapt: The Untold Story of Water in Climate Change Adaptation Processes*. Stockholm, GWP. www.gwp.org/globalassets/global/events/cop24/gwp-ndc-report.pdf
- _____. 2019a. *Sharing Water: The Role of Robust Water-Sharing Arrangements in Integrated Water Resources Management*. Perspectives paper. Stockholm, GWP. www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/gwp-sharing-water.pdf
- _____. 2019b. *Addressing Water in National Adaptation Plans: Water Supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines*. Deuxième édition. Stockholm, GWP. www.gwp.org/globalassets/global/gwp_nap_water_supplement.pdf
- GWP Caraïbes/CCCC (Partenariat mondial pour l'eau aux Caraïbes/Centre de la communauté des Caraïbes sur les changements climatiques). 2014. *Achieving Development Resilient to Climate Change: A Sourcebook for the Caribbean Water Sector*. Information Brief No. 4. GWP Caraïbes, Trinité-et-Tobago. cdn.org/wp-content/uploads/2017/01/Information-Brief-4-WV.pdf

- Haasnoot, M., Schellekens, J., Beersma, J., Middelkoop, H. et Kwadijk, J. C. J. 2015. « Transient scenarios for robust climate change adaptation illustrated for water management in the Netherlands ». *Environmental Research Letters*, Vol. 10, n° 10. pp. 1–17. doi.org/10.1088/1748-9326/10/10/105008
- Hadjerioua, B., Wei, Y. et Kao, S.-C. 2012. *An Assessment of Energy Potential at Non-Powered Dams in the United States*. Programme sur l'énergie éolienne et hydraulique, Département de l'énergie des États-Unis. www1.eere.energy.gov/water/pdfs/npd_report.pdf
- Hall, J. W., Grey, D., Garrick, D., Fung, F., Brown, C., Dadson, S. J. et Sadoff, C. W. 2014. « Coping with the curse of freshwater variability: Institutions, infrastructure, and information for adaptation ». *Science*, Vol. 346, n° 6208, pp. 429–430. doi.org/10.1126/science.1257890
- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D. et Vogt-Schilb, A. 2016. *Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty*. Washington, D.C., Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22787
- Hamill, A. et Price-Kelly, H. 2017. *Expert Perspective for the NDC Partnership: Using NDCs, NAPs and the SDGs to Advance Climate-Resilient Development*. Partenariat pour les contributions déterminées au niveau national. ndcpartnership.org/sites/default/files/NDCP_Expert_Perspectives_NDC_NAP-SDG_full.pdf
- Hanak, E., Lund, J., Dinar, A., Gray, B., Howitt, R., Mount, J., Moyer, P. et Thompson, B. 2011. *Managing California's Water, From Conflict to Reconciliation*. San Francisco, Calif., États-Unis, Public Policy Institute of California.
- Hanaki K. et Portugal-Pereira, J. 2018. « The effect of biofuel production on greenhouse gas emission reductions ». Takeuchi, K., Shiroyama, H., Saito, O. et Matsuura, M. (eds), *Biofuels and Sustainability: Science for Sustainable Societies*. Tokyo, Springer.
- Haque, M., Rahman, A., Goonetilleke, A., Hagare, D. et Kibria, G. 2015. « Impact of climate change on urban water demand in future decades: An Australian case study ». *Advances in Environmental Research*, Vol. 43, pp. 57–70.
- Hattermann, F. F., Vetter, T., Breuer, L., Su, B., Daggupati, P., Donnelly, C., Fekete, B., Flörke, F., Gosling, S. N., Hoffmann, P., Liersch, L., Masaki, Y., Motovilov, Y., Müller, C., Samaniego, L., Stacke, T., Wada, Y., Yang, T. et Krysnova, V. 2018. « Sources of uncertainty in hydrological climate impact assessment: A cross-scale study ». *Environmental Research Letters*, Vol. 13, n° 1, 015006. doi.org/10.1088/1748-9326/aa9938
- Havens, K. E. et Paerl, H. W. 2015. « Climate change at a crossroad for control of harmful algal blooms ». *Environmental Science and Technology*, Vol. 49, n° 21, pp. 12605–12606. doi.org/10.1021/acs.est.5b03990
- Haynes, K. et Tanner, T. M. 2015. « Empowering young people and strengthening resilience: Youth-centred participatory video as a tool for climate change adaptation and disaster risk reduction ». *Children's Geographies*, Vol. 13, n° 3, pp. 357–371. doi.org/10.1080/14733285.2015.1048599
- Hedger, M. 2018a. *Water, National Determined Contributions (NDCs) and Paris Agreement Implementation*. Rapport préparé par le Partenariat mondial pour l'eau (GWP). Non publié.
- _____. 2018b. *Climate Change and Water: Finance Needs to Flood not Drip*. Londres, Overseas Development Institute (ODI). www.odi.org/publications/11220-climate-change-and-water-finance-needs-flood-not-drip
- Hedger, M. et Nakhoda, S. 2015. *Finance and Intended Nationally Determined Contributions (INDCs): Enabling Implementation*. Working Paper No. 425. Londres, Overseas Development Institute (ODI). www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/10001.pdf
- Hejazian, M., Gurdak, J. J., Swarzenski, P., Odigie, K. et Storlazzi, C. 2017. « Effects of land-use change and managed aquifer recharge on hydrogeochemistry of two contracting atoll island aquifers, Roi-Namur, Republic of the Marshall Islands ». *Applied Geochemistry*, Vol. 80, pp. 58–71. dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.03.006
- Hermann, A., Kofler, P. et Mairhofer, J. P. 2016. *Climate Risk Insurance: New Approaches and Schemes*. Working Paper. Munich, Allemagne, Allianz. www.allianz.com/content/dam/onemarketing/azcom/Allianz_com/migration/media/economic_research/publications/working_papers/en/ClimateRisk.pdf
- Hettiarachchi, H. et Ardakanian, R. 2016. *Safe Use of Wastewater in Agriculture: Good Practice Examples*. Dresden, Allemagne, Institut pour la gestion intégrée des flux matériels et des ressources (UNU-FLORES). collections.unu.edu/view/UNU:5764
- Hiç, C., Pradhan, P., Rybski, D. et Kropp, J. P. 2016. « Food surplus and its climate burdens ». *Environmental Science and Technology*, Vol. 50, n° 8, pp. 4269–4277. doi.org/10.1021/acs.est.5b05088.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. et Kanae, S. 2013. « Global flood risk under climate change ». *Nature Climate Change*, Vol. 3, n° 9, pp. 816–821. doi.org/10.1038/nclimate1911
- HLPE (Groupe d'experts de haut niveau). 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale : Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition*. Rome, HLPE. www.fao.org/3/a-av045f.pdf
- HLPW (Groupe de haut niveau sur l'eau). 2018a. *Making Every Drop Count: An Agenda for Water Action*. reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/17825HLPW_Outcome.pdf
- _____. 2018b. *Value Water*. sustainabledevelopment.un.org/content/documents/hlpwater/07-ValueWater.pdf
- Ho, M., Lal, U., Allaire, M., Devineni, M., Kwon, H. H., Pal, I., Raff, D. et Wegner, D. 2017. « The future role of dams in the United States of America ». *Water Resources Research*, Vol. 53, n° 2, pp. 982–988. doi.org/10.1002/2016WR019905
- Hofer, T. et Messerli, B. 2006. *Floods in Bangladesh: History, Dynamics and Rethinking the Role of the Himalayas*. Tokyo, Presses de l'UNU/FAO.

- Hofstra, N., Vermeulen, L. C., Derx, J., Flörke, M., Mateo-Sagasta, J., Rose, J. et Medema G. 2019. « Priorities for developing a modelling and scenario analysis framework for waterborne pathogen concentrations in rivers worldwide and consequent burden of disease ». *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 36, pp. 28–38. doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.002
- Hogeboom, R. J., Knook, L. et Hoekstra, A. Y. 2018. « The blue water footprint of the world's artificial reservoirs for hydroelectricity, irrigation, residential and industrial water supply, flood protection, fishing and recreation ». *Advances in Water Resources*, Vol. 113, pp. 285–294. doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.01.028
- Holling, C. S. (ed). 1978. *Adaptive Environmental Assessment and Management*. International Series on Applied Systems Analysis. Chichester, Royaume-Uni, John Wiley & Sons. Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIASA).
- Honer T. 2019. *Windhoek – 50 Years Direct Potable Water Reuse History, Current Situation and Future*. Document présenté lors du Symposium sur le recyclage et la réutilisation de l'eau. Water Institute of Southern Africa (Institut de l'eau d'Afrique australe), Johannesburg, Afrique du Sud. documents.windhoekcc.org.na/Content/Documents/CoW50yrDPR/Day%201%20-%20PDF/1.%20DPR%2050%20Year%20History%20-%20PvR.pdf
- Hoogeveen, J., Faurès, J. M., Peiser, L., Burke, J. et Van de Giesen, N. 2015. « GlobWat – A global water balance model to assess water use in irrigated agriculture ». *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 19, n° 9, pp. 3829–3844. doi.org/10.5194/hess-19-3829-2015
- Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., Shinoda, M., Ma, Z., Guo, W., Li, Z., Zhang, L., Liu, Y., Yu, H., He, Y., Xie, Y., Guan, X., Ji, M., Lin, L., Wang, S., Yan, H. et Wang, G. 2017. « Dryland climate change: Recent progress and challenges ». *Reviews of Geophysics*, Vol. 55, n° 3, pp. 719–778. doi.org/10.1002/2016RG000550.
- Huggel, C., Wallimann-Helmer, I., Stone, D. et Cramer, W. 2016. « Reconciling justice and attribution research to advance climate policy ». *Nature Climate Change*, Vol. 6, n° 10, pp. 901–908. doi.org/10.1038/nclimate3104
- Hülsmann, S., Harby A. et Taylor, R. 2015. *The Need for Water as Energy Storage for Better Integration of Renewables*. Policy Brief No. 01/2015. Dresden, Allemagne, Institut pour la gestion intégrée des flux matériels et des ressources (UNU-FLORES). collections.unu.edu/view/UNU:3143
- Humpenöder, F., Popp, A., Bodirsky, B. L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Klein, D., Kreidenweis, U., Müller C., Rolinski, S. et Stevanovic, M. 2018. « Large-scale bioenergy production: How to resolve sustainability trade-offs? » *Environmental Research Letters*, Vol. 13, n° 2, 024011. doi.org/10.1088/1748-9326/aa9e3b
- Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R. S., Clague, J. J., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D. R., Greenwood, G., Marck, B. G., Milner, A. M., Weingartner, R. et Winder, M. 2017. « Toward mountains without permanent snow and ice ». *Earth's Future*, Vol. 5, pp. 418–435. doi.org/10.1002/2016EF000514
- Hutton, G. et Varughese, M. 2016. *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*. Washington, D.C., Banque internationale pour la reconstruction et le développement/Banque mondiale, Programme Eau et assainissement (WSP). www.worldbank.org/en/topic/water/publication/the-costs-of-meeting-the-2030-sustainable-development-goal-targets-on-drinking-water-sanitation-and-hygiene
- ICPDR (Commission internationale pour la protection du Danube). 2019. *Climate Change Adaptation Strategy*. Vienne, IDPDR. www.icpdr.org/main/activities-projects/climate-change-adaptation
- IDFC (International Development Finance Club). 2018. *IDFC Green Finance Mapping Report 2018*. IDFC. www.idfc.org/wp-content/uploads/2018/12/idfc-green-finance-mapping-2017.pdf
- IDMC (Observatoire des situations de déplacement interne). 2018. *Global Report on Internal Displacement (GRID) 2018*. Genève, IDMC. www.internal-displacement.org/global-report/grid2018/
- IIASA (Institut international d'analyse appliquée des systèmes). s.d. *Water Futures and Solutions*. Site Web d'IIASA. www.iiasa.ac.at/web/home/research/wfas/water-futures.html
- Ikeuchi, K. 2012. *Flood Management in Japan*. Division de la planification, Bureau de gestion de l'eau et des catastrophes, Ministère du territoire, des infrastructures, des transports et du tourisme. www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/pdf/conf_01-0.pdf
- Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., Bahl, A., Biemans, H., Bolch, T., Hyde, S., Brumby, S., Davies, B. J., Elmore, A. C., Emmer, A., Feng, M., Fernández, A., Haritashya, U., Kargel, J. S., Koppes, M., Kraaijenbrink, P. D. A., Kulkarni, A. V., Mayewski, P., Nepal, S., Pacheco, P., Painter, T. H., Pellicciotti, F., Rajaram, H., Rupper, S., Sinisalo, A., Shrestha, A. B., Viviroli, D., Wada, Y., Xiao, X., Yao, T. et Baillie, J. E. M. 2019. « Importance and vulnerability of the world's water towers ». *Nature*, projet non édité de document approuvé pour publication. doi:10.1038/s41586-019-1822-y
- Immerzeel, W. W., Van Beek, L. P. H. et Bierkens, M. F. P. 2010. « Climate change will affect the Asian water towers ». *Science*, Vol. 328, n° 5984, pp. 1382–1385. doi.org/10.1126/science.1183188
- IPBES (Plateforme intergouvernementale science-politique sur la biodiversité et les services écosystémiques). 2018. *Assessment Report on Land Degradation and Restoration*. Résumé à destination des dirigeants. Bonn, Allemagne, Secrétariat de l'IPBES. www.ipbes.net/assessment-reports/ldr
- _____. 2019. *Rapport de la Plénière de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques sur les travaux de sa septième session. Additif : Résumé à l'intention des décideurs du rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques*. Septième session. Bonn, Allemagne, Secrétariat de l'IPBES. ipbes.net/sites/default/files/ipbes_7_10_add.1_fr.pdf

- IRENA (Agence internationale pour les énergies renouvelables). 2015. *Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus*. Abou Dhabi, IRENA. www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_water_energy_food_nexus_2015.pdf
- ISO (Organisation internationale de normalisation). 2019. *ISO 14007 : Management environnemental – Lignes directrices pour la détermination des coûts et des bénéfices environnementaux*. www.iso.org/fr/standard/70139.html
- Iza, A. et Stein, R. (eds). 2009. *RULE – Reforming Water Governance*. Gland, Suisse, Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). portals.iucn.org/library/efiles/documents/2009-002.pdf
- Jiménez, A. et Pérez-Foguet, A. 2010. « Building the role of local government authorities towards the achievement of the human right to water in rural Tanzania ». *Natural Resources Forum*, Vol. 34, n° 2, pp. 93–105. doi.org/10.1111/j.1477-8947.2010.01296.x
- Jollymore, A., Haines, M. J., Satterfield, T. et Johnson, M. S. 2017. « Citizen science for water quality monitoring: Data implications of citizen perspectives ». *Journal of Environmental Management*, Vol. 200, pp. 456–467. doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.083
- Jones, E., Qadir, M., Van Vliet, M. T. N., Smakhtin, V. et Kang, S. 2019. « The state of desalination and brine production: A global outlook ». *Science of The Total Environment*, Vol. 657, pp. 1343–1356. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076
- Jouravlev, A. 2018. *Water, Energy and Food Nexus in America Latina and the Caribbean: Impacts*. Présentation pour la 2e réunion du Comité exécutif et réunion des partenaires du Programme de dialogue sur les interactions, 1–2 mars 2018, Bruxelles. Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC). www.cepal.org/sites/default/files/news/files/brussels_01_03_2018_aj.pdf
- Kabat, P. et Van Schaik, H. (eds). 2003. *Climate Changes the Water Rules: How Water Managers can Cope with Today's Climate Variability and Tomorrow's Climate Change*. Delft/Wageningen, Pays-Bas, Dialogue on Water and Climate.
- Kalra, A., Piechota, T. C., Davies, R. et Tootle, G. A. 2008. « Changes in U.S. streamflow and Western U.S. snowpack ». *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 13, n° 3, pp. 156–163. [dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:3\(156\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:3(156))
- Kampschreur, M. J., Temmink, H., Kleerebezen, R., Jetten, M. S. M. et Van Loosdrecht, M. C. M. 2009. « Nitrous oxide emission during wastewater treatment ». *Water Research*, Vol. 43, n° 17, pp. 4093–4103. doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.001
- Kang, S. et Eltahir, E. A. B. 2018. « North China Plain threatened by deadly heatwaves due to climate change and irrigation ». *Nature Communications*, Vol. 9, n° 2894. doi.org/10.1038/s41467-018-05252-y
- Keddy, P. A. 2010. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Deuxième édition. New York, Cambridge University Press.
- Kelles-Viitanen, A. 2018. *Custodians of Culture and Biodiversity: Indigenous Peoples take Charge of their Challenges and Opportunities*. Initiative pour intégrer l'innovation du Fonds international de développement agricole (FIDA)/Gouvernement de la Finlande. www.ifad.org/documents/38714170/40861543/custodians_biodiversity.pdf/002993bc-6139-44cf-86a6-07acce712a0d
- Keys, P. W. et Falkenmark, M. 2018. « Green water and African sustainability ». *Food Security*, Vol. 10, no 3, pp. 537–548. doi.org/10.1007/s12571-018-0790-7
- Kibret, S., Lautze, J., McCartney, M., Glenn Wilson, G. et Nhamo, L. 2015. « Malaria impact of large dams in sub-Saharan Africa: Maps, estimates and predictions ». *Malaria Journal*, Vol. 14, n° 339. doi.org/10.1186/s12936-015-0873-2
- Kibret, S., Lautze, J., McCartney, M., Nhamo, L. et Wilson, G. G. 2016. « Malaria and large dams in sub-Saharan Africa: Future impacts in a changing climate ». *Malaria Journal*, Vol. 15, n° 448. doi.org/10.1186/s12936-016-1498-9
- Kim, J., Kirschke, S. et Avellán, T. 2018. *Well-Designed Citizen Science Projects can Help Monitor SDG 6*. SDG Knowledge Hub, Institut international du développement durable (IISD). sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/well-designed-citizen-science-projects-can-help-monitor-sdg-6/
- Kirschke, S. et Newig, J. 2017. « Addressing complexity in environmental management and governance ». *Sustainability*, Vol. 9, n° 6, art. 983. doi.org/10.3390/su9060983
- Kjellén, M. 2006. *From Public Pipes to Private Hands: Water Access and Distribution in Dar es Salaam, Tanzania*. Thèse de doctorat. Stockholm, Département de la géographie humaine. Université de Stockholm.
- _____. 2019. *Menaces latentes sur l'approvisionnement en eau des villes*. Site Web du PNUD. www.undp.org/content/undp/fr/home/blog/2019/climate-change-reveals-underlying-threats-to-urban-water.html
- Klapper, H. 2003. « Technologies for lake restoration ». *Journal of Limnology*, Vol. 62, n° 1s, pp. 73–90. doi.org/10.4081/jlimnol.2003.s1.73
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Osses, P., Sarsour, J., Frost, E., Estrela, M. J., Valiente, J. A. et Fessehaye, G. M. 2012. « Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives ». *Ambio*, Vol. 41, pp. 221–234. doi.org/10.1007/s13280-012-0247-8
- Koch, I. C., Vogel, C. et Patel, Z. 2006. « Institutional dynamics and climate change adaptation in South Africa ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 12, n° 8, pp. 1323–1339. [Doi.org/10.1007/s11027-006-9054-5](https://doi.org/10.1007/s11027-006-9054-5)
- Koeh, R. et Langat, P. 2018. « Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context ». *Water*, Vol. 10, n° 12, art. 1771. doi.org/10.3390/w10121771
- Kölbl, J., Strong, C., Noe, C. et Reig, P. 2018. *Mapping Public Water Management by Harmonizing and Sharing Corporate Water Risk Information*. Document technique. Institut des ressources mondiales (WRI). www.wri.org/publication/mapping-public-water

- Konecny, K., Ballhorn, U., Navratil, P., Jubanski, J., Page, S. E., Tansey, K., Hooijer, A., Vernimmen, R. et Siegert, F. 2016. « Variable carbon losses from recurrent fires in drained tropical peatlands ». *Global Change Biology*, Vol. 22, n° 4, pp. 1469–1480. doi.org/10.1111/gcb.13186
- Koohafkan, P., Salman, M. et Casarotto, C. 2011. *Investments in Land and Water*. State of Land and Water Resources (SOLAW) Background Thematic Report n° 17. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_17_web.pdf
- Kressig, A., Byers, L., Friedrich, J., Luo, T. et McCormick, C. 2018. *Water Stress Threatens Nearly Half the World's Thermal Power Plant Capacity*. Site Web de WRI. www.wri.org/blog/2018/04/water-stress-threatens-nearly-half-world-s-thermal-power-plant-capacity
- Kundzewicz, Z. W. et Schellnhuber, H. J. 2004. « Floods in the IPCC TAR Perspective ». *Natural Hazards*, Vol. 31, n° 1, pp. 111–128. doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020257.09228.7b
- Lahnsteiner, J. et Lempert, G. 2007. « Water Management in Windhoek, Namibia ». *Water Science & Technology*, Vol. 55, n° 1-2, pp. 441–448. doi.org/10.2166/wst.2007.022
- Laugier, M. C., Means III, E. G., Daw, J. A. et Hurley, M. 2010. « Climate change and adaptation in southern California ». Howe, C., Smith, J. B. et Henderson, J. (ed), *Climate Change and Water: International Perspectives on Mitigation and Adaptation*. Association américaine des travaux hydrauliques (AWWA)/IWA Publishing.
- Law, I., Menge, J. et Cunliffe, D. 2015. « Validation of the Goreangab reclamation plant in Windhoek, Namibia against the 2008 Australian Guidelines for water recycling ». *Journal of Water Reuse and Desalination*, Vol. 5, n° 1, pp. 64–71 doi.org/10.2166/wrd.2014.138
- Leach, B. 2019. *School Strike for Climate #FridaysForFuture*. Site Web de Climate Museum UK. climatemuseumuk.org/2019/07/10/school-strike-for-climate-fridaysforfuture/
- Lebel, L., Manuta, J. B. et Garden, P. 2011. « Institutional traps and vulnerability to changes in climate and flood regimes in Thailand ». *Regional Environmental Change*, Vol. 11, n° 1, pp. 45–58. doi.org/10.1007/s10113-010-0118-4
- Leonard, G. S., Johnston, D. M., Paton, D., Christianson, A., Becker, J. et Keys, H. « Developing effective warning systems: Ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand ». *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 172, n° 3–4, pp. 199–215. doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.008
- Li, W. W., Yu, H. Q. et Rittmann, B. E. 2015. « Reuse water pollutants ». *Nature News*, Vol. 528, n° 7580, pp. 29–31. Doi.org/10.1038/528029a
- Li, Y., Kinzelbach, W., Hou, J., Wang, H., Yu, L., Wang, L., Chen, F., Yang, Y., Li, N., Li, Y., He, P., Jäger, D., Henze, J., Li, H., Li, W. et Hagmann, A. 2018. *Strategic Rehabilitation of Overexploited Aquifers through the Application of Smart Water Management: Handan Pilot Project in China*. Deajeon, République de Corée, K-water. www.iwra.org/wp-content/uploads/2018/11/5-SWM-China-final.pdf
- Lin, P., He, Z., Gong, Z. et Wu, J., 2018. « Coastal Reservoirs in China ». *HydroLink*, n° 2018-1, pp. 6–9.
- Liu, J., Xiang, C., Shao, W. et Luan, Y. 2016. « Sponge city construction in Xiamen, China ». *HydroLink*, n° 2016-4. doi.org/10.3390/w9090594
- Lopez-Gunn, E., Zorrilla, P., Prieto, F. et Llamas, M. R. 2012. « Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture ». *Agricultural Water Management*, Vol. 108, pp. 83–95. doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.005
- Lovgren, S. 2019. *Mekong River at its Lowest in 100 Years, Threatening Food Supply*. Site Web de National Geographic. www.nationalgeographic.com/environment/2019/07/mekong-river-lowest-levels-100-years-food-shortages/
- Lyons, S. 2015. *The Jakarta floods of Early 2014: Rising risks in one of the world's fastest sinking cities*. Organisation internationale pour les migrations (OIM), *The State of Environmental Migration 2015 – A Review of 2014*. IOM. publications.iom.int/fr/books/state-environmental-migration-2015-review-2014
- Maktabifard, M., Zaborowska, E. et Makinia, J. 2018. « Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production ». *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, Vol. 17, pp. 655–689. doi.org/10.1007/s11157-018-9478-x
- Manfreda, S., McCabe, M. F., Miller, P. E., Lucas, R., Madrigal, V. P., Mallinis, G., Dor, E. B., Helman, D., Estes, L., Ciralo, G., Müllerová, J., Tauro, F., De Lima, M. I., De Lima, J. L. M. P., Maltese, P., Francs, F., Cayon, K., Kohv, M., Perks, M., Ruiz-Pérez, G., Su, Z., Vico, G. et Toth, B. 2018. « On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring ». *Remote Sensing*, Vol. 10, n° 4, art. 641. doi.org/10.3390/rs10040641
- March, H., Morote, Á. F., Rico, A.-M. et Saurí, D. 2017. « Household smart water metering in Spain: Insights from the experience of remote meter reading in Alicante ». *Sustainability*, Vol. 9, n° 4. doi.org/10.3390/su9040582
- Marence, M., Tesgera, S. L. et Franca, M. J. 2018. « Towards the circularization of the energy cycle by implementation of hydroelectricity production in existing hydraulic systems ». Barchiesi, S., Carmona-Moreno, C., Dondeynaz, C. et Biedler, M. (eds), *Proceedings of the Workshop on Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) Nexus and Sustainable Development Goals (SDGs)*. JRC Conference and Workshops Reports. Bruxelles, Commission européenne (CE), pp. 25–31. aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-29-01%20PROCEEDINGS-Nexus%20SDGs_PositionPaper_2.pdf
- Matthews, J. H., Timboe, I., Amani, A., Bhaduri, A., Dalton, J., Dominique, K., Fletcher, M., Gaillard-Picher, D., Holmgren, T., Leflaive, X., McClune, K., Mishra, A., Koepfel, S., Kerres, M., Krahl, D., Kranefeld, R., Panella, T., Rodriguez, D., Singh, A., Tol, S., White, M., Van de Guchte, C., Van Weert, F., Vlaanderen, N. et Yokota, T. 2018. *Mastering Disaster in a Changing Climate: Reducing disaster through resilient water management*. Site Web de Global Water Forum. globalwaterforum.org/2018/12/02/mastering-disaster-in-a-changing-climate-reducing-disaster-risk-through-resilient-water-management/.

- McDonald, R. et Shemie, D. 2014. *Urban Water Blueprint: Mapping Conservation Solutions to the Global Water Challenge*. The Nature Conservancy/Groupe C40 des villes pionnières dans la lutte contre les changements climatiques/International Water Association. www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/06/Urban-Water-Blueprint-Report.pdf
- McGill, B. M., Altchenko, Y., Hamilton, S. K., Kenabatho, P. K., Sylvester, S. R. et Villholth, K. G. 2019. « Complex interactions between climate change, sanitation, and groundwater quality: A case study from Ramotswa, Botswana ». *Hydrogeology Journal*, Vol. 27, n° 3, pp. 997–1015. doi.org/10.1007/s10040-018-1901-4
- McGranahan, G., Lewin, S., Fransen, T., Hunt, C., Kjellén, M., Pretty, J., Stephens, C. et Virgin, I. 1999. *Environmental Change and Human Health in Countries of Africa, the Caribbean and the Pacific*. Stockholm, Institut de Stockholm pour l'environnement. mediamanager.sei.org/documents/Publications/Risk-livelihoods/environmental_change_human_health_africa.pdf
- McGranahan, G., Balk, D. et Anderson, B. 2007. « The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones ». *Environment and Urbanization*, Vol. 19, n° 1. doi.org/10.1177/0956247807076960
- McGray, H., Hammill, A. et Bradley, R. 2007. *Weathering the Storm: Options for Framing Adaptation and Development*. Washington, D.C., Institut des ressources mondiales. pdf.wri.org/weathering_the_storm.pdf
- McKinsey & Company. 2018. *Decarbonization of Industrial Sectors: The Next Frontier*. McKinsey & Company. www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Sustainability/Our%20Insights/How%20industry%20can%20move%20toward%20a%20low%20carbon%20future/Decarbonization-of-industrial-sectors-The-next-frontier.ashx
- McMichael, A. J., Campbell-Lendrum, D., Kovats, S., Edwards, S., Wilkinson, P., Wilson, T., Nicholls, R., Hales, S., Tanser, F., Le Sueur, D., Schlesinger, M. et Andronova, N. 2004. « Global climate change ». Ezzati, M., Lopez, A. D., Rodgers, A. et Murray, C. J. L. (eds), *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*. Geneva, Organisation mondiale de la Santé (OMS), pp. 1543–1650. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42792/9241580348_eng_Volume1.pdf?sessionId=50DC4781DE24E85BD82C9F800690877F?sequence=1
- Meera, P., McLain, M. L., Bijlani, K., Jayakrishnan, R. et Rao, B. R. 2016. « Serious game on flood risk management ». Shetty, N. R., Patnaik, L. M., Prasad, N. H. et Nalini, N. (eds), *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications*. New Delhi, Springer.
- Mekonnen, M. M. et Hoekstra, A. Y. 2012. « A global assessment of the water footprint of farm animal products ». *Ecosystems*, Vol. 15, n° 3, pp. 401–415. doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8
- _____. 2016. « Four billion people facing severe water scarcity ». *Science Advances*, Vol. 2, n° 2. doi.org/10.1126/sciadv.1500323
- Mendoza, G., Jeuken, A., Matthews, J. H., Stakhiv, E., Kucharski, J. et Gilroy, K. 2018. *Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265895
- Metzger, E., Owens, B., Reig, P., Wen, W. H. et Young, R. 2016. *Water-Energy Nexus: Business Risks and Rewards*. Washington, D.C., Institut des ressources mondiales. www.wri.org/publication/water-energy-nexus
- Mgbemene, C. A., Nnaji, C. C. et Nwozor, C. 2016. « Industrialization and its backlash: Focus on climate change and its consequences ». *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 9, n° 4, pp. 301–316. doi.org/10.3923/jest.2016.301.316
- Miletto, M., Caretta, M. A., Burchi, F. M. et Zanlucchi, G. 2017. *Migration and its Interdependencies with Water Scarcity, Gender and Youth Employment*. Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. unesdoc.unesco.org/images/0025/002589/258968E.pdf
- Miletto, M., Pangare, V. et Thuy, L. 2019. *Tool 1 – Gender-Responsive Indicators for Water Assessment, Monitoring and Reporting*. Trousse d'outils du Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau sur les données sur l'eau ventilées par sexe. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367971
- Miller, D. et Hutchins, M. 2017. « The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom ». *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 12, pp. 345–362. doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.06.006
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A. et Vecchia, A. V. 2005. « Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate ». *Nature*, Vol. 438, n° 7066, pp. 347–350. doi.org/10.1038/nature04312
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P. et Stouffer, R. J. 2008. « Stationarity is dead: Whither water management? » *Science*, Vol. 319, n° 5863, pp. 573–574. doi.org/10.1126/science.1151915
- Min, S. K., Zhang, X., Zwiers, F. W. et Hegerl, G. C. 2011. « Human contribution to more-intense precipitation extremes ». *Nature*, Vol. 470, n° 7334, pp. 378–381. doi.org/10.1038/nature09763.
- Ministère de l'écologie et des ressources naturelles d'Ukraine. 2013. *National Communication (NC): NC 6*. unfccc.int/documents/198421
- Ministère de l'économie et des finances de Mauritanie. 2017. *SCAPP 2016-2030 : Stratégie de croissance accélérée et de prospérité partagée, Volume 2 : orientations stratégiques & plan d'actions 2016-2020*. République islamique de Mauritanie. www.economie.gov.mr/IMG/pdf/scapp_volume_2_-_fr_16-11-2017.pdf
- Ministère de l'énergie de la République du Kazakhstan/ PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) au Kazakhstan/FEM (Fonds pour l'environnement mondial). 2017. *Seventh National Communication and Third Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change*. Astana, Ministère de l'énergie de la République du Kazakhstan. unfccc.int/sites/default/files/resource/20963851_Kazakhstan-NC7-BR3-1-ENG_Saulet_Report_12-2017_ENG.pdf

- Ministère de l'environnement de la République du Kenya. 2013. *The National Water Master Plan 2030*. République du Kenya. wasreb.go.ke/national-water-master-plan-2030/
- Ministère de l'environnement du Chili. 2014. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* [plan national d'adaptation aux changements climatiques]. Gouvernement du Chili. www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/Chile%20NAP%20including%20sectoral%20plans%20Spanish.pdf
- Ministère de l'environnement et de la planification physique de la République de Macédoine. 2014. *Third National Communication on Climate Change*. Skopje, Ministère de l'environnement et de la planification physique. unfccc.org.mk/content/Documents/TNP_ANG_FINAL.web.pdf
- Ministère de l'environnement et des forêts du Bangladesh. 2009. *Bangladesh Climate Change Strategy and Action Plan 2009*. Dhaka, Ministère de l'environnement et des forêts, Gouvernement de la République populaire du Bangladesh.
- Ministère des affaires locales et de l'environnement de Tunisie/FEM (Fonds pour l'environnement mondial)/ PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 2019. *Tunisia's Third National Communication as Part of the United Nations Framework Convention on Climate Change*. unfccc.int/sites/default/files/resource/Synth%C3%A8se%20Ang%20Finalis%C3%A9.pdf
- Moazamnia, M., Hassanzadeh, Y., Nadiri, A. A., Khatibi, R. et Sadeghfam, S. 2019. « Formulating a strategy to combine artificial intelligence models using Bayesian model averaging to study a distressed aquifer with sparse data availability ». *Journal of Hydrology*, Vol. 571, pp. 765–781. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.011
- Mobjörk, M., Gustafsson, M.-T., Sonnsjö, H., Van Baalen, S., Dellmuth, L. M. et Bremberg, N. 2016. *Climate-Related Security Risks. Towards an Integrated Approach*. Solna/Stockholm, Suède, Institut international de recherche sur la paix de Stockholm/Université de Stockholm. www.sipri.org/publications/2016/climate-related-security-risks
- Mohammed, H., Longva, A. et Seidu, R. 2018. « Predictive analysis of microbial water quality using machine-learning algorithms ». *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, Vol. 74, n° 1 pp. 7–20. doi.org/10.5755/j01.erem.74.1.20083
- Molle, F. et Tanouti, O. 2017. « Squaring the circle: Agricultural intensification vs. water conservation in Morocco ». *Agricultural Water Management*, Vol. 192, pp. 170–179. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.009
- Molle, F. et Wester, P. (eds). 2009. *River Basin Trajectories: Societies, Environments and Development*. Wallingford, Royaume-Uni, International Centre for Agriculture and Biosciences. www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABL_Series/River_Basin_Trajectories/9781845935382.pdf
- Moomaw, W. R., Chmura, G. L., Davies, G. T., Finlayson, C. M., Middleton, B. A., Natali, S. M., Perry, J. E., Roulet, N. et Sutton-Grier, A. E. 2018. « Wetlands in a changing climate: Science, policy and management ». *Wetlands*, Vol. 38, n° 2, pp. 183–205. doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8
- Moran, E. F., Lopez, M. C., Moore, N., Müller, N. et Hyndman, D. W. 2018. « Sustainable hydropower in the 21st century ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, Vol. 115, n° 47, pp. 11891–11898. doi.org/10.1073/pnas.1809426115
- Mukherjee, A., Bhanja, S. N. et Wada, Y. 2018. « Groundwater depletion causing reduction of baseflow triggering Ganges river summer drying ». *Scientific Reports*, Vol. 8, art. 12049. doi.org/10.1038/s41598-018-30246-7
- MunichRE, NatCatSERVICE. 2019. *NatCatService*. Natural catastrophe statistics online. Site Web de MunichRE. www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/natcatservice/index.html
- Muthuwatta, L., Amarasinghe, U. A., Sood, A. et Surinaidu, L. 2017. « Reviving the “Ganges Water Machine”: Where and how much? » *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 21, pp. 2545–2557. doi.org/10.5194/hess-21-2545-2017
- NAS (Académie des sciences des États-Unis). 2016. *Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change*. Washington, D.C., The National Academies Press. doi.org/10.17226/21852
- NERC (Conseil de recherche sur l'environnement naturel). 2019. *Citizen Scientists Needed to Unearth Historic Weather Records to Help Predict Future Climate*. Site Web de NERC. nerc.ukri.org/press/releases/2019/11-citizen/
- New Climate Economy. 2018. *Unlocking the Inclusive Growth Story of the 21st Century: Accelerating Climate Action in Urgent Times*. Washington, D.C., New Climate Economy. www.newclimateeconomy.report
- Newborne, P. et Dalton, J. 2016. *Water Management and Stewardship: Taking Stock of Corporate Water Behaviour*. Gland/Londres, Suisse/Royaume-Uni, Union internationale pour la conservation de la nature/Overseas Development Institute (IUCN/ODI). portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-069.pdf
- Newman, J. P., Maier, H. R., Riddell, G. A., Zecchin, A. C., Daniell, J. E., Schaefer, A. M., Van Delden, H., Khazai, B., O'Flaherty, M. J. et Newland, C. P. 2017. « Review of literature on decision support systems for natural hazard risk reduction: Current status and future research directions ». *Environmental Modelling & Software*, Vol. 96, pp. 378–409. doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.042
- Niasse, M. 2017. *Coordinating Land and Water Governance for Food Security and Gender Equality*. Technical Committee (TEC) Background Papers no 24. Stockholm, Partenariat mondial pour l'eau. www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp-tec-no-24_web.pdf
- Northrop, E., Biru, H., Lima, S., Bouye, M. et Song, R. 2016. *Examining the Alignment between the Intended Nationally Determined Contributions and Sustainable Development Goals*. Working Paper. Washington, D.C., Institut des ressources mondiales. www.wri.org/publication/examining-alignment-between-intended-nationally-determined-contributions-and-sustainable

- NRDC (Natural Resources Defense Council). 2017. *National Development Banks and Green Investment Banks: Mobilizing Finance in Latin America and the Caribbean toward the Implementation of Nationally Determined Contributions*. NRDC. www.nrdc.org/sites/default/files/national-development-banks.pdf
- Oates, N., Ross, I., Calow, R., Carter, R. et Doczi, J. 2014. *Adaptation to Climate Change in Water, Sanitation and Hygiene – Assessing Risks, Appraising Options in Africa*. Londres, Overseas Development Institute (ODI). www.odi.org/publications/8154-adaptation-climate-change-water-sanitation-and-hygiene-assessing-risks-appraising-options-africa
- OCCIAAR (Ontario Centre for Climate Impacts and Adaptation Resources). 2015. *Climate Change Impacts & Adaptation in Ontario: Industry*. OCCIAAR. www.climateontario.ca/doc/RACII/National_Assessment_Syntheses/SummarySheets/Chapter5-Industry.pdf
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2008. *Gender and Sustainable Development: Maximising the Economic, Social and Environmental Role of Women*. Paris, Éditions OCDE. doi.org/10.1787/9789264049901-en
- _____. 2012. *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. Paris, Éditions OCDE. www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264122246-en.pdf?expires=1576513787&id=id&accname=ocid177643&checksum=E5D1E6D4DB78962941DAA08F2B58D805
- _____. 2015. *Principes de l'OCDE sur la gouvernance de l'eau*. Adoptés par le Comité des politiques de développement régional de l'OCDE le 11 mai 2015. Accueillis lors de la réunion du Conseil de l'OCDE au niveau des Ministres le 4 juin 2015. www.oecd.org/fr/gov/politique-regionale/Principes-OCDE-gouvernance-eau_brochure.pdf
- _____. 2018. *Le financement climatique des pays développés aux pays en développement*. Flux publics en 2013-17. Paris, Éditions OCDE. www.oecd.org/fr/environnement/cc/R%C3%A9sultats-cl%C3%A9s-le-financement-climatique-des-pays-d%C3%A9velopp%C3%A9s-aux-pays-en-d%C3%A9veloppement-flux-publics-en-2013-17.pdf
- _____. 2019. *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2019-2028*. Paris, Éditions OCDE. www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/perspectives-agricoles-de-l-ocde-et-de-la-fao-2019-2028_agr_outlook-2019-fr
- OCDE/FAO (Organisation de coopération et de développement économiques/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2018. *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2018-2027*. Paris/Rome, Éditions OCDE/FAO. www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/perspectives-agricoles-de-l-ocde-et-de-la-fao-2018-2027_agr_outlook-2018-fr
- ODI/ECDPM/IAD (Overseas Development Institute/Centre européen de gestion des politiques de développement/Institut allemand de développement). 2012. *Rapport européen sur le développement 2011/12, Affronter la rareté : Gérer l'eau, l'énergie et les terres pour une croissance inclusive et durable*. Union européenne (UE). ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/consca-report-erd-2011_fr.pdf
- O'hara, M., Nagumo, N., Shrestha, B. B. et Sawano, H. 2018. « Evidence-based contingency planning to enhance local resilience to flood disasters ». Abbot, J. et Hammond, A. (eds), *Recent Advances in Flood Risk Management*. IntechOpen. www.intechopen.com/books/recent-advances-in-flood-risk-management/evidence-based-contingency-planning-to-enhance-local-resilience-to-flood-disasters
- OIT (Organisation internationale du travail). 2016. *WASH@Work: A Self-Training Handbook*. Genève, OIT. www.ilo.org/global/docs/WCMS_535058/lang-en/index.htm
- _____. 2017. *Les peuples autochtones et les changements climatiques : De victimes à agents de changement grâce au travail décent*. Genève, OIT. www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---gender/documents/publication/wcms_632111.pdf
- _____. 2019. *Job Creation for Syrian Refugees and Jordanian Host Communities through Green Works in Agriculture and Forestry*. Programme des Investissements à haute intensité de main-d'œuvre. Genève, OIT. www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/documents/publication/wcms_661972.pdf
- Okaka, F. O. et Odhiambo, B. D. O. 2018. « Relationship between flooding and out break of infectious diseases in Kenya: A review of the literature ». *Journal of Environmental and Public Health*. doi.org/10.1155/2018/5452938
- Oliveira, J. A. P. 2009. « The implementation of climate change related policies at the subnational level: An analysis of three countries ». *Habitat International*, Vol. 33, n° 3, pp. 253–259. doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.006
- OMM (Organisation météorologique mondiale). 2015a. *Seamless Prediction of the Earth Systems: From Minutes to Months*. Genève, OMM. public.wmo.int/en/resources/library/seamless-prediction-of-earth-system-from-minutes-months
- _____. 2015b. *Directives de l'OMM sur les services de prévision et d'alerte multidanger axées sur les impacts*. Genève, OMM. library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=17279#XisQqmhKJIU
- _____. 2016. *Use of Climate Predictions to Manage Risks*. Genève, OMM et Organisation mondiale de la Santé (OMS). library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3310
- _____. 2019. *Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2018*. Genève, OMM. library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5796
- OMM et GWP (Organisation météorologique mondiale et Partenariat mondial pour l'eau). 2016. *Manuel des indicateurs et indices de sécheresse* (M. Svoboda et B. A. Fuchs), Programme de gestion intégrée des sécheresses, Integrated Drought Management Programme Tools and Guidelines Series 2. Genève, OMM/GWP. library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3340
- OMS (Organisation mondiale de la Santé). 2006. *Guideline for Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78265/9241546824_eng.pdf;jsessionid=1572CFBF92C0231F2700A0EEF7F4ECE8?sequence=1

- _____. 2011. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. Quatrième édition. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258887/9789242549959-fre.pdf?sequence=1
- _____. 2012. *Global Costs and Benefits of Drinking-Water Supply and Sanitation Interventions to Reach the MDG Target and Universal Coverage*. Genève, OMS. www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/globalcosts.pdf
- _____. 2014. *Preventing Diarrhoea through Better Water, Sanitation and Hygiene: Exposures and Impacts in Low- and Middle-Income Countries*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/150112/9789241564823_eng.pdf?sequence=1
- _____. 2015a. *La planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement : Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*. Genève, OMS. www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/fr/
- _____. 2015b. *WHO UNFCCC Climate and Health Country Profiles – 2015: A Global Overview*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/208855/WHO_FWC_PHE_EPE_15.01_eng.pdf?sequence=1
- _____. 2015c. *Cadre opérationnel pour renforcer la résilience des systèmes de santé face au changement climatique*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258818/9789242565072-fre.pdf?sequence=1
- _____. 2016. *La planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement : Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*. Genève, OMS. www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/fr/
- _____. 2017. *Climate-Resilient Water Safety Plans: Managing Health Risk Associated with Climate Variability and Change*. Genève, OMS. www.who.int/globalchange/publications/climate-resilient-water-safety-plans/en/
- _____. 2018a. *Lignes directrices relatives à l'assainissement et à la santé*. Genève, OMS. www.who.int/water_sanitation_health/publications/guidelines-on-sanitation-and-health/fr/
- _____. 2018b. *COP24 Special Report: Health and Climate Change*. Genève, OMS. www.who.int/globalchange/publications/COP24-report-health-climate-change/en/
- _____. 2019a. *Safer Water, Better Health: Costs, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43840/9789241596435_eng.pdf?sequence=1
- _____. 2019b. *Climate, Sanitation and Health. Discussion Paper*. Genève, OMS. www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/sanitation/sanitation-and-climate-change20190813.pdf?ua=1
- _____. s.d. *Universal Health Coverage*. Observatoire mondial de la Santé (GHO) de l'OMS. apps.who.int/gho/portal/uhc-overview.jsp
- OMS/DFID (Organisation mondiale de la Santé/Ministère du développement international du Royaume-Uni). 2009. *Summary and Policy Implications Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change*. Genève, OMS. apps.who.int/iris/handle/10665/44172
- OMS/UNICEF (Organisation mondiale de la Santé/Fonds des Nations Unies pour l'enfance). 2015. *Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment*. Genève/New York, OMS/UNICEF. www.unicef.org/publications/index_82419.html
- _____. 2017. *Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène : mise à jour 2017 et évaluation des ODD*. Genève/New York, OMS/UNICEF. www.unicef.org/french/publications/index_96611.html
- _____. 2018. *JMP Methodology: 2017 Updates and SDG Baselines*. washdata.org/sites/default/files/documents/reports/2018-04/JMP-2017-update-methodology.pdf
- _____. 2019. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017. Special focus on inequalities*. New York, UNICEF/WHO. data.unicef.org/resources/progress-drinking-water-sanitation-hygiene-2019/
- ONU (Organisation des Nations Unies). 2018a. *Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation*. New York, Organisation des Nations Unies. www.unwater.org/publication_categories/sdg-6-synthesis-report-2018-on-water-and-sanitation/
- _____. 2018b. *United Nations Secretary-General's Plan: Water Action Decade 2018-2028*. New York, Organisation des Nations Unies. wateractiondecade.org/wp-content/uploads/2018/03/UN-SG-Action-Plan_Water-Action-Decade-web.pdf
- _____. 2019. *Rapport sur les objectifs de développement durable*. New York, Organisation des Nations Unies. unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_French.pdf
- ONUDI (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel). 2017a. *Accelerating Clean Energy through Industry 4.0: Manufacturing the Next Revolution*. Nagasawa, T., Pillay, C., Beier, G., Fritzsche, K., Pougel, F., Takama, T. K. et Bobashev, I. Vienne, ONUDI. www.unido.org/sites/default/files/2017-08/REPORT_Accelerating_clean_energy_through_Industry_4.0.Final_0.pdf
- _____. 2017b. *Implementation Handbook for Eco-Industrial Parks*. Vienne, ONUDI. www.unido.org/sites/default/files/files/2018-05/UNIDO%20Eco-Industrial%20Park%20Handbook_English.pdf
- _____. 2019. *Eco-Industrial Parks: Achievements and Key Insights From The Global RECP Programme 2012 – 2018*. Vienne, ONUDI. www.unido.org/sites/default/files/files/2019-02/UNIDO_EIP_Achievements_Publication_Final.pdf
- _____. s.d.a. *Circular Economy*. www.unido.org/sites/default/files/2017-07/Circular_Economy_UNIDO_0.pdf

- _____. s.d.b. *Green Industry Initiative*. Site Web d'ONUDI. www.unido.org/our-focus/cross-cutting-services/green-industry/green-industry-initiative
- ONUDI/Groupe de la Banque mondiale/GIZ (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel/Groupe de la Banque mondiale/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH). 2017. *An International Framework for Eco-Industrial Parks*. Washington, D.C., Banque mondiale. openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29110
- ONU Environnement. 2017. *Country Questionnaire for Indicator 6.5.1. Degree of Integrated Water Resources Management Implementation: Bangladesh*. UN Environment. iwrmdataportal.unepdhi.org/IWRMDataJsonService/Service1.svc/getNationalSubmissionFile/Bangladesh.
- _____. 2018. *Progrès sur la gestion intégrée des ressources hydriques – scénario de référence mondiale pour l'indicateur ODD 6.5.1 : niveau de mise en œuvre GIRE*. Nairobi, UN Environment. www.unwater.org/publications/progress-on-integrated-water-resources-management-651/ (en anglais)
- ONU-Eau. 2013. *What is Water Security?* Infographie. Site Web d'ONU-Eau. www.unwater.org/publications/water-security-infographic/
- _____. 2014. Site Web de la Décennie internationale d'action « L'eau, source de vie » 2005-2015. www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml
- _____. 2019. *Climate Change and Water*. UN-Water Policy Brief. Geneva, ONU-Eau. www.unwater.org/app/uploads/2019/12/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_FR.pdf
- ONU Info. 2019. *Four Things the UN Chief wants world leaders to know, at key COP24 climate conference opening*. Organisation des Nations Unies. news.un.org/en/story/2018/12/1027321
- OPCC (Observatoire pyrénéen du changement climatique) s.d. *Science citoyenne*. Site Web de l'OPCC. www.opcc-ctp.org/fr/contenido/science-citoyenne
- Otoo, M., Lefore, N., Schmitter, P., Barron, J. et Gebregziabher, G. 2018. *Business Model Scenarios and Suitability: Smallholder Solar Pump-Based Irrigation in Ethiopia. Agricultural Water Management – Making a Business Case for Smallholders*. Research Report No. 172. Colombo, Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). doi.org/10.5337/2018.207
- Owain, E. L. et Maslin, M. A. 2018. « Assessing the relative contribution of economic, political and environmental factors on past conflict and the displacement of people in East Africa ». *Palgrave Communications*, Vol. 4, art. 47. doi.org/10.1057/s41599-018-0096-6
- Oxfam International. s.d. *Autonomiser les agricultrices pour lutter contre la faim et la pauvreté*. Site Web d'Oxfam International. www.oxfam.org/fr/autonomiser-les-agricultrices-pour-lutter-contre-la-faim-et-la-pauvrete
- Oxford Business Group. 2014. *The Report: Qatar 2014*. Oxford Business Group. oxfordbusinessgroup.com/qatar-2014-0
- Pahl-Wostl, C., Kabat, P. et Moltgen, J. (ed). 2010. *Adaptive and Integrated Water Management: Coping with Complexity and Uncertainty*. Berlin/New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pappenberger, F., Hannah, C., Dennis, P., Fredrik, W., David, R. et Jutta, T. 2015. « The monetary benefit of early flood warnings in Europe ». *Environmental Science & Policy*, Vol. 51, pp. 278–291. doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.016
- Parker, D. J. et Priest, S. J. 2012. « The fallibility of flood warning chains: Can Europe's flood warnings be effective? » *Water Resources Management*, Vol. 26, n° 10, pp. 2927–2950. doi.org/10.1007/s11269-012-0057-6
- Paul, L. et Pütz, K. 2008. « Suspended matter elimination in a pre-dam with discharge dependent storage level regulation ». *Limnologia*, Vol. 38, n° 3-4, pp. 388–399. doi.org/10.1016/j.limno.2008.07.001
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 2014. *Towards a World of Cities in 2050: An Outlook on Water-Related Challenges. Background report to the UN-Habitat Global Report*. La Haye, Pays-Bas, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. www.pbl.nl/en/publications/towards-a-world-of-cities-in-2050-an-outlook-on-water-related-challenges
- _____. 2018. *The Geography of Future Water Challenges*. La Haye, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-2920_2.pdf
- Pelto, M. 2016. « Alpine glaciers and ice sheets ». Blunden, J. et Arndt, D. S. (eds), *State of the Climate in 2015. Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 97, n° 8, pp. S23–S24. doi.org/10.1175/2016BAMSStateoftheClimate.1
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M. Z., Liu, X. D., Miller, J. R., Ning, L., Ohmura, A., Palazzi, E., Rangwala, I., Schöner, W., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Wang, M. B., Williamson, S. N. et Yang, D. Q. 2015. « Elevation-dependent warming in mountain regions of the world ». *Nature Climate Change*, Vol. 5, n° 5, pp. 424–430. doi.org/10.1038/nclimate2563
- Perera, D., Seidou, O., Agnihotri, J., Rasmy, M., Smakhtin, V., Coulibaly, P. et Mehmood, H. 2019. *Flood Early Warning Systems: A Review of Benefits, Challenges and Prospects*. UNU-INWEH Report Series no 08. Hamilton, Canada, Institut pour l'eau, l'environnement et la santé (UNU-INWEH). inweh.unu.edu/flood-early-warning-systems-a-review-of-benefits-challenges-and-prospects/
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R. G. et Burt, C. M. 2009. « Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities ». *Agricultural Water Management*, Vol. 96, n° 11, pp. 1517–1524. doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005
- Person, M., Wilson, J. L., Morrow, N. et Post, C. E. A. 2017. « Continental-shelf freshwater water resources and improved oil recovery by low-salinity waterflooding ». *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Bulletin*, Vol. 101, n° 1, pp. 1–18. doi.org/10.1306/05241615143

- Phuntsho, S., Dorji, U. et Smith, K. J. 2019. *Coming to Grips with Water: How Bhutan is Overcoming Water Challenges Magnified by the Onset of Climate Change*. Article Exposure. Site Web sur l'adaptation au climat du PNUD. Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). undp-adaptation.exposure.co/coming-to-grips-with-water
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T. et Fang, J. 2010. « The impacts of climate change on water resources and agriculture in China ». *Nature*, Vol. 467, pp. 43–51. doi.org/10.1038/nature09364
- Picek, T., Čížková, H. et Dušek, J. 2007. « Greenhouse gas emissions from a constructed wetland—Plants as important sources of carbon ». *Ecological Engineering*, Vol. 31, n° 2, pp. 98–106. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.06.008
- Pischke, F. et Stefanski, R. 2018. « Integrated drought management initiatives ». Wilhite, D. et Pulwarty, R., *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management and Policy, Second Edition*. Boca Raton, Calif., États-Unis/Londres/New York, CRC Press.
- Pitcock, J. et Hartmann, J. 2011. « Taking a second look: Climate change, periodic relicensing and improved management of dams ». *Marine and Freshwater Research*, Vol. 62, pp. 312–320. doi.org/10.1071/MF09302
- PMNU/Goldman Sachs (Pacte mondial des Nations Unies/Goldman Sachs). 2009. *Change is Coming: A Framework for Climate Change – A Defining Issue of the 21st Century*. Caring for Climate Series. New York, PMNU. www.unglobalcompact.org/library/126
- PMNU/PNUe (Pacte mondial des Nations Unies/Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2012. *Business and Climate Change Adaptation: Toward Resilient Companies and Communities*. New York, PMNU. www.unglobalcompact.org/library/115
- PMNU/PNUe/Oxfam/WRI (Pacte mondial des Nations Unies/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Oxfam/Institut des ressources mondiales). 2011. *Adapting for a Green Economy: Companies, Communities and Climate Change*. New York, PMNU. www.unglobalcompact.org/library/116
- PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 2011. *Paving the Way for Climate-Resilient Infrastructure: Guidance for Practitioners and Planners*. New York, PNUD. www.unccllearn.org/sites/default/files/inventory/undp_paving_the_way.pdf
- _____. 2013. *Gender and Disaster Risk Reduction. Gender and Climate Change – Asia and the Pacific Policy Brief No. 3*. New York, PNUD. www.undp.org/content/dam/undp/library/gender/Gender%20and%20Environment/PB3-AP-Gender-and-disaster-risk-reduction.pdf
- _____. 2015. *Making the Case for Ecosystem-Based Adaptation: The Global Mountain EBA Programme in Nepal, Peru and Uganda*. New York, PNUD. www.adaptation-undp.org/resources/assessments-and-background-documents/making-case-ecosystem-based-adaptation-global
- _____. 2019. *Human Development Report 2019 – Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century*. New York, PNUD. hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2019.pdf
- PNUD/CCNUCC (Programme des Nations Unies pour le développement/Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 2019. *The Heat is On: Taking Stock of Global Climate Ambition*. NDC Global Outlook Report 2019. New York/Bonn, Allemagne, PNUD/CCNUCC. www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/climate_change/ndc-global-outlook-report-2019.html
- PNUe (Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2016. *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment*. Nairobi, PNUe. www.wwqa-documentation.info/assets/uneep_wwqa_report_web.pdf
- PNUe/CEE (Programme des Nations Unies pour l'environnement/Commission économique pour l'Europe). 2015. *The Strategic Framework for Adaptation to Climate Change in the Neman River Basin*. PNUd Biélorussie. www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2016/wat/04Apr_6-7_Workshop/Strategy_of_Adaptation_to_Climate_Change_ENG_for_print.pdf
- PNUe/ONU-Eau (Programme des Nations Unies pour l'environnement/ONU-Eau). 2018. *Progrès relatifs aux écosystèmes liés à l'eau – Mise à l'essai de la méthode de suivi et résultats préliminaires relatifs à l'indicateur 6.6.1 des ODD*. PNUe. www.unwater.org/publications/progress-on-water-related-ecosystems-661/
- PNUe/Partenariat PNUe-DHI/UICN/TNC/WRI (Programme des Nations Unies pour l'environnement/Partenariat PNUe-DHI/Union internationale pour la conservation de la nature/The Nature Conservancy/Institut des ressources mondiales). 2014. *Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-Based Management Approaches for Water-Related Infrastructure Projects*. PNUe. www.unepdhi.org/-/media/microsite_unepdhi/publications/documents/uneep/web-uneep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en-20140814.pdf
- Poff, N. L., Brinson, M. M. et Day Jr., J. W. 2002. *Aquatic Ecosystems and Global Climate Change: Potential Impacts on Inland Freshwater and Coastal Wetland Ecosystems in the United States*. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change. www.pewtrusts.org/-/media/legacy/uploadedfiles/wwwpewtrustsorg/reports/protecting_ocean_life/envclimateaquaticecosystemspdf.pdf
- Polade, S. D., Pierce, D. W., Cayan, D. R., Gershunov, A. et Dettinger, M. D. 2014. « The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes ». *Scientific Reports*, Vol. 4, art. 4364, pp. 1–8. doi.org/10.1038/srep04364
- Pories, L. 2016. « Income-enabling, not consumptive: Association of household socio-economic conditions with safe water and sanitation ». *Aquatic Procedia*, Vol. 6, pp. 74–86. doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.06.009
- Post, V., Groen, J., Kooi, H., Person, M. et Ge, S. 2013. « Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon ». *Nature*, Vol. 504, pp. 71–78. doi.org/10.1038/nature12858
- Pritchard, H. D. 2019. « Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress ». *Nature*, Vol. 569, n°7758, pp. 649–654. doi.org/10.1038/s41586-019-1240-1

Pugh, T. A. M., Lindeskog, M., Smith, B., Poulter, B., Arneeth, A., Haverd, V. et Calle, L. 2019. « The role of forest regrowth in global carbon sink dynamics ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, Vol. 116, n° 10, pp. 4382–4387. doi.org/10.1073/pnas.1810512116

Qadir, M. 2018. « Addressing trade-offs to promote safely managed wastewater in developing countries ». *Water Economics and Policy*, Vol. 4, n° 2, pp. 1–10. doi.org/10.1142/S2382624X18710029

Qadir, M. et Smakhtin, V. 2018. « Where the water is ». *Project Syndicate* (17 mai 2018). www.project-syndicate.org/commentary/tapping-unconventional-freshwater-sources-by-manzoor-qadir-and-vladimir-smakhtin-2018-05?barrier=accesspaylog

Qadir, M., Jiménez, G., Farnum, R. L., Dodson, L. L. et Smakhtin, V. 2018. « Fog water collection: Challenges beyond technology ». *Water*, Vol. 10, p. 372. doi.org/10.3390/w10040372

Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R. et Karajeh, F. 2007. « Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries ». *Agricultural Water Management*, Vol. 87, n° 1, pp. 2–22. doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018

R20 for Climate Change. 2018. *Up to USD 1.4 Billion to Finance Clean Infrastructure Projects in Africa*. Site Web de R20. regions20.org/2018/09/28/usd-1-4-billion-finance-clean-infrastructure-projects-africa/

Rafico, R. 2014. « Iceberg media ». *International Journal of Communication*, Vol. 8, pp. 2525–2530.

Rajagopalan, P., Santamouris, M. et Andamo, M. M. 2017. « Public engagement in urban microclimate research: An overview of a citizen science project ». Schnabel, M. A. (eds), *Back to the Future: The Next 50 Years*. Wellington, Architectural Science Association. anzasca.net/wp-content/uploads/2017/11/Back-to-the-Future-The-Next-50-Years.pdf

Räsänen, T. A., Varis, O., Scherer, L. et Kumm, M. 2018. « Greenhouse gas emissions of hydropower in the Mekong River Basin ». *Environmental Research Letters*, Vol. 13, n° 3, 034030. doi.org/10.1088/1748-9326/aaa817

Rasheed, K. B. S. 2008. *Bangladesh: Resource and Environmental Profile*. Dhaka, A H Development Publishing House.

Rasmussen, P., Sonnenborg, T. O., Gonciar, G. et Hinsby, K. 2013. « Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer ». *Hydrology and Earth System Science*, Vol. 17, pp. 421–443. doi.org/10.5194/hess-17-421-2013.

Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K. et West, P. C. 2015. « Climate variation explains a third of global crop yield variability ». *Nature Communications*, Vol. 6, art. 5989, pp. 1–9. doi.org/10.1038/ncomms6989

Reinmar, S., Dietrich, K., Schweizer, S., Bawa, K. S., Chopde, S., Zaman, F., Sharma, A., Bhattacharya, S., Devkota, L. P. et Khaling, S. 2018. « Progress on integrating climate change adaptation and disaster risk reduction for sustainable development pathways in South Asia: Evidence from six research projects ». *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 31, pp. 92–101. doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.04.023

République de Tunisie. 2016. *Transcription du titre original* [Plan de développement 2016–2020]. www.mdici.gov.tn/wp-content/uploads/2017/06/Volume_Global.pdf (en arabe)

République d'Indonésie. 2014a. *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015-2019* [Plan national de développement à moyen terme 2015–2019]. extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ins183392.pdf (en indonésien)

_____. 2014b. *National Action Plan on Climate Change*.

République du Cameroun. 2009a. *Document de stratégie pour la croissance et l'emploi (DSCE) : Cadre de référence de l'action gouvernementale pour la période 2010–2020*. République du Cameroun. www.undp.org/content/dam/cameroon/docs-one-un-cameroon/2017/dsce.pdf

_____. 2009b. *Cameroun Vision 2035*. République du Cameroun. extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cmr145894.pdf

_____. 2015. *Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Cameroun*. République du Cameroun. www4.unfccc.int/sites/NAPC/Documents/Parties/PNACC_Cameroun_VF_Valid%C3%A9_24062015%20-%20FINAL.pdf

République du Kazakhstan. 2012. *Strategy « Kazakhstan-2050 » : New Political Course of the Established State*. Discours du Président de la République du Kazakhstan, dirigeant de la nation, N. Nazarbayev. www.akorda.kz/en/addresses/addresses_of_president/address-by-the-president-of-the-republic-of-kazakhstan-leader-of-the-nation-nazarbayev-strategy-kazakhstan-2050-new-political-course-of-the-established-state

République du Kenya. 2018. *Third Medium Term Plan 2018–2022. Transforming Lives: Advancing Socio-Economic Development through the “Big Four”*. Nairobi, Gouvernement de la République du Kenya. planning.go.ke/wp-content/uploads/2018/12/THIRD-MEDIUM-TERM-PLAN-2018-2022.pdf

République islamique de Mauritanie. 2004. *National Adaptation Programme of Action (NAPA-RIM) to Climate Change*. Nouakchott, Ministère du développement rural et de l'environnement, République islamique de Mauritanie. www4.unfccc.int/sites/NAPC/Country%20Documents/Parties/mau01e.pdf

Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M.-H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson, S. et Rodell, M. 2015. « Quantifying renewable groundwater stress with GRACE ». *Water Resources Research*, Vol. 51, pp. 5217–5238. doi.org/10.1002/2015WR017349

Ringler, C., Choufani, J., Chase, C., McCartney, M., Mateo-Sagasta, J., Mekonnen, D. et Dickens, C. 2018. *Meeting the Nutrition and Water Targets of the Sustainable Development Goals: Achieving Progress through Linked Interventions*. WLE Research for Development (R4D) Learning Series No. 7. Colombo/Washington, D.C., Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI) Programme de recherche du CGIAR Research Program sur l'eau, les terres et les écosystèmes (WLE)/Banque mondiale. doi.org/10.5337/2018.221

- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaulieu, H. K., Landerer, F. W. et Lo, M. H. 2018. « Emerging trends in global freshwater availability ». *Nature*, Vol. 557, n° 7707, pp. 651–659. doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1
- Roidt, M. et Avellán, T. 2019. « Learning from Integrated Management Approaches to implement the Nexus ». *Journal of Environmental Management*, Vol. 237, pp. 609–616. doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.106
- Rojas, M., Lambert, F., Ramirez-Villegas, J. et Challinor, A. J. 2019. « Emergence of robust precipitation changes across crop production areas in the 21st century ». *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, Vol. 116, n° 14, pp. 6673–6678. doi.org/10.1073/pnas.1811463116
- Rothausen, S. G. et Conway, D. 2011. « Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector ». *Nature Climate Change*, Vol. 1, n° 4, pp. 210–219. doi.org/10.1038/nclimate1147
- Ruiz, R. 2015. « Media environments: Icebergs/screens/history ». *Journal of Northern Studies*, Vol. 9, n° 1, pp. 33–50.
- Rulli, M. C., Bellomi, D., Cazzoli, A., De Carolis, G. et D'Odorico, P. 2016. « The water-land-food nexus of first-generation biofuels ». *Scientific Reports*, Vol. 6, art. 22521. doi.org/10.1038/srep22521
- Ryan, S. F., Adamson, N. L., Aktipis, A., Andersen, L. K., Austin, R., Barnes, L., Beasley, M. R., Bedell, K. D., Briggs, S., Chapman, B., Cooper, C. B., Corn, J. O., Creamer, N. G., Delborne, J. A., Domenico, P., Driscoll, E., Goodwin, J., Hjarving, A., Hulbert, J. M., Isard, S., Just, M. G., Kar Gupta, K., López-Urbe, M. M., O'Sullivan, J., Landis, E. A., Madden, A. A., McKenney, E. A., Nichols, L. M., Reading, B. J., Russell, S., Sengupta, N., Shapiro, L. R., Shell, L. K., Sheard, J. K., Shoemaker, D. D., Sorger, D. M., Starling, C., Thakur, S., Vatsavai, R. R., Weinstein, M., Winfrey, P. et Dunn, R. R. 2018. « The role of citizen science in addressing grand challenges in food and agriculture research ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 285, n° 1981. doi.org/10.1098/rspb.2018.1977
- Sadoff, C. et Muller, M. 2009. *Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation: Early Impacts and Essential Responses*. Global Water Partnership Technical Committee (GWP TEC) Background papers n° 14. Stockholm, GWP. www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/14-water-management-water-security-and-climate-change-adaptation.-early-impacts-and-essential-responses-2009-english.pdf
- San Francisco Water Power Sewer. s.d. *Water Meter Plumbing Leak Check*. Site Web de San Francisco Water Power Sewer. sfwater.org/index.aspx?page=527
- Saravanan, V. S., McDonald, G. T. et Mollinga, P. P. 2009. « Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse ». *Natural Resources Forum*, Vol. 33, n° 1, pp. 76–86. doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01210.x
- Saravi, S., Kalawsky, R., Joannou, D., Casado, M. R., Fu, G. et Meng, F. 2019. « Use of artificial intelligence to improve resilience and preparedness against adverse flood events ». *Water*, Vol. 11, n° 5, art. 973. doi.org/10.3390/w11050973
- Sarkar, A. et Pandey, P. 2015. « River water quality modelling using artificial neural network technique ». *Aquatic Procedia*, Vol. 4, pp. 1070–1077. doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.135
- Scanlon, B. R. et Smakhtin, V. 2016. « Focus on water storage for managing climate extremes and change ». *Environmental Research Letters*, Vol. 11, 120208. doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/120208
- Schaar, J. 2018. *The Relationship between Climate Change and Violent Conflict*. Green Tool Box/Peace and Security Tool Box: Working Paper 2017. Stockholm, Agence suédoise de coopération internationale pour le développement (ASDI). www.sida.se/contentassets/c571800e01e448ac9dce2d097ba125a1/working-paper--climate-change-and-conflict.pdf
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colón-González, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L. et Kabat, P. 2014. « Multimodel assessment of water scarcity under climate change ». *Proceedings of the National Academy of Science of the United State of America*, Vol. 111, n° 9, pp. 3245–3250. doi.org/10.1073/pnas.1222460110.
- Schmitter, P., Kibret, K. S., Lefore, N. et Barron, J. 2018. « Suitability mapping framework for solar photovoltaic pumps for smallholder farmers in sub-Saharan Africa ». *Applied Geography*, Vol. 94, pp. 41–57. doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.008
- Schoeman, J., Allan, C. et Finlayson, C. M. 2014. « A new paradigm for water? A comparative review of integrated, adaptive and ecosystem-based water management in the Anthropocene ». *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 30, n° 3, pp. 377–390. doi.org/10.1080/07900627.2014.907087
- Schreiber, L. 2019. *Keeping the Taps Running: How Cape Town Averted 'Day Zero,' 2017–2018*. Innovations for Successful Societies. Université de Princeton. successfulsocieties.princeton.edu/publications/keeping-taps-running-how-cape-town-averted-day-zero-2017-2018
- Schulte, P. 2018. *The Types of Water Risk: The Many Ways Water Challenges Can Affect Your Business*. Site Web de CEO Water Mandate.
- Schwärzel, K., Zhang, L., Strecker, A. et Podlasly, C. 2018. « Improved water consumption estimates of black locust plantations in China's loess plateau ». *Forests* Vol. 9, n° 4, pp. 1–21. doi.org/10.3390/f9040201
- Scott, C. A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F. et Varela-Ortega, C. 2014. « Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience ». *Hydrology and Earth Systems Science*, Vol. 18, pp. 1339–1348. doi.org/10.5194/hess-18-1339-2014
- Scott, M. 2019. *Cities Are On The Front Line Of Tackling Climate Change – And They Need To Do More*. Site Web de Forbes. www.forbes.com/sites/mikescott/2019/06/05/cities-are-on-the-front-line-of-tackling-climate-change-and-they-need-to-do-more/#39626d8738fb
- Scott, M. et Lindsey, R. 2018. *2017 State of the Climate: Global Drought*. Site Web de United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). www.climate.gov/news-features/featured-images/2017-state-climate-global-drought

- Seckler, D., Barker, R. et Amarasinghe, U. 1999. « Water scarcity in the twenty-first century ». *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 15, n° 1–2, pp. 29–42.
- See, L. 2019. « A review of citizen science and crowdsourcing in applications of pluvial flooding ». *Frontiers in Earth Science*. doi.org/10.3389/feart.2019.00044
- See, L., Fritz, S., Dias, E., Hendriks, E., Mijling, B., Snik, F., Stames, P., Vescovi, F. D., Zeug, G., Mathieu, P.-P., Desnos, Y.-L. et Rast, M. 2016. « Supporting earth-observation calibration and validation: A new generation of tools for crowdsourcing and citizen science ». *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, Vol. 4, n° 3, pp. 38–50. doi.org/10.1109/MGRS.2015.2498840
- Senogur, B., Koklu, R. et Ates, A. 2015. « Water quality assessment using artificial intelligence techniques: SOM and ANN—A case study of Melen River Turkey ». *Water Quality, Exposure and Health*, Vol. 7, n° 4, pp. 469–490. doi.org/10.1007/s12403-015-0163-9
- Sermet, Y. et Demir, I. 2018. « An intelligent system on knowledge generation and communication about flooding ». *Environmental Modelling & Software*, Vol. 108, pp. 51–60. doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.003
- SERVIR-Mekong. s.d. *Historical Flood Analysis Tool*. Agence américaine pour le développement international/Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis/Centre asiatique de planification préalable aux catastrophes (USAID/NASA/ADPC). servir.adpc.net/tools/historical-flood-analysis-tool
- SGNU (Secrétaire général des Nations Unies). 2019. *Opening remarks at press encounter at UN Headquarters*. António Guterres. Site Web de l'Organisation des Nations Unies. www.un.org/sg/en/content/sg/speeches/2019-08-01/remarks-press-encounter-un-headquarters
- Shah, T. 2005. « Groundwater and human development: Challenges and opportunities in livelihoods and environment ». *Water, Science & Technology*, Vol. 51, n° 8, pp. 27–37.
- _____. 2009. *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*. Washington, DC/Colombo, Resources for the Future/Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). cgspace.cgiar.org/handle/10568/36566
- _____. 2016. *Increasing Water Security: The Key to Implementing the Sustainable Development Goals*. Commission technique du Partenariat mondial pour l'eau (GWP TEC) Background Papers n° 22. Stockholm, GWP. cgspace.cgiar.org/handle/10568/78624
- Shah, T., Rajan, A., Rai, G. P., Verma, S. et Durga, N. 2018. « Solar pumps and South Asia's energy-groundwater nexus: Exploring implications and reimagining its future ». *Environmental Research Letters*, Vol. 13, n° 11. doi.org/10.1088/1748-9326/aae53f
- Shao, J., Jiang, Y., Wang, Z., Peng, L., Luo, S., Gu, J. et Li, R. 2014. « Interactions between algicidal bacteria and the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*: Lytic characteristics and physiological responses in the cyanobacteria ». *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 11, n° 2, pp. 469–476. doi.org/10.1007/s13762-013-0205-4
- Shrestha, M. S., Goodrich, C. G., Udas, P., Rai, D. M., Gurung, M. B. et Khadgi, V. 2016. *Flood Early Warning Systems in Bhutan: A Gendered Perspective*. ICIMOD Working Paper no 2016/13. Centre international de mise en valeur intégrée des montagnes (ICIMOD) lib.icimod.org/record/32377/files/icimodEWS-WP01613.pdf
- Sieber, H. U., Socher, M. 2010. « Adaption of Operation of Saxon Dams to Changing Developments. 15th German Dam Symposium ». *Wasserwirtschaft*, Vol. 100, n° 4, pp. 29–31.
- Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K. et Burke, J. 2013. *Update of the Global Map of Irrigation Areas to Version 5*. Rapport de projet. Rome/Bonn, Allemagne, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)/Institut des sciences des cultures et de la conservation des ressources, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität. doi.org/10.13140/2.1.2660.6728
- Siebert, S., Kummu, M., Porkka, M., Döll, P., Ramankutty, N. et Scanlon, B. R. 2015. « Historical Irrigation Dataset (HID) ». *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 19, pp. 1521–1545. doi.org/10.13019/M20599
- Sit, M. A., Koylu, C. et Demir, I. 2019. « Identifying disaster-related tweets and their semantic, spatial and temporal context using deep learning, natural language processing and spatial analysis: A case study of Hurricane Irma ». *International Journal of Digital Earth*, pp. 1–25. doi.org/10.1080/17538947.2018.1563219
- Sitharam, T. G. 2018. « Envisaging a freshwater reservoir in the Arabian Sea to impound the flood waters of Netravati River ». *Hydrolink*, n° 2018-1, pp. 18–20
- SIWI (Institut international de l'eau à Stockholm). 2018. *How Landscapes and Water Mitigate Climate Change*. Document d'orientation. Stockholm, SIWI.
- _____. s.d. *Key Messages. SIWI at COP24*. Site Web de SIWI. www.siwi.org/siwi-at-cop/
- Skoulikaris, C., Filali-Meknassi, Y., Aureli, A., Amani, A. et Jimenez-Cisneros, B. 2018. « Information-communication technologies as an Integrated Water Resources Management (IWRM) tool for sustainable development ». Komatina, D., *Achievements and Challenges of Integrated River Basin Management*. IntechOpen. doi.org/10.5772/intechopen.74700
- Smith, M. et Jønhc Clausen, T. 2018. *Revitalising IWRM for the 2030 Agenda*. World Water Council Challenge Paper for the High-Level Panel on IWRM at the 8th World Water Forum, Brasilia, Brazil. Marseille, France, Conseil mondial de l'eau (CME). www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Forum_docs/WWC_IWRM-Challenge_Paper.pdf
- _____. s.d. *Integrated Water Resource Management: A New Way Forward*. A Discussion Paper of the World Water Council Task Force on IWRM. Marseille, France, Conseil mondial de l'eau (CME). www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Initiatives/IWRM/Integrated_Water_Resource_Management-A_new_way_forward%20.pdf

- Smith, P. J., Brown, S. et Dugar, S. 2017. « Community-based early warning systems for flood risk mitigation in Nepal ». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 17, n° 3, pp. 423–437. doi.org/10.5194/nhess-17-423-2017
- Sood, A. et Smakhtin, V. 2014. « Can desalination and clean energy combined help to alleviate global water scarcity? » *Journal of American Water Resource Association*, Vol. 50, n° 5, pp. 1111–1123. doi.org/10.1111/jawr.12174
- Soriano, E., De Resende Londe, L., Torres di Gregorio, L., Pellegrini Coutinho, M. et Bacellar Lima Santos, L. 2016. « Water crisis in São Paulo evaluated under the disaster's point of view ». *Ambiente & Sociedade* [Environnement & Société], Vol. 19, n° 1. doi.org/10.1590/1809-4422asoc150120r1v1912016
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., De Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H. C. J., Tilman, D., Rockström, J. et Willett, W. 2018. « Options for keeping the food system within environmental limits ». *Nature*, Vol. 562, pp. 519–525. doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0
- Srivasta, S., Vaddadi, S. et Sadistap, S. 2018. « Smartphone-based system for water quality analysis ». *Applied Water Science*, Vol. 8, art. 130. doi.org/10.1007/s13201-018-0780-0
- Steffens, G. 2018. *Changing Climate Forces Desperate Guatemalans to Migrate*. Site Web de National Geographic. www.nationalgeographic.com/environment/2018/10/drought-climate-change-force-guatemalans-migrate-to-us/
- Stone, D., Auffhammer, M., Carey, M., Hansen, G., Huggel, C., Cramer, W., Lobell, D., Molau, U., Solow, A., Tibig, L. et Yohe, G. 2013. « The challenge to detect and attribute effects of climate change on human and natural systems ». *Climatic Change*, Vol. 121, n° 2, pp. 381–395. doi.org/10.1007/s10584-013-0873-6
- Stuchtey, M. 2015. *Rethinking the Water Cycle*. Site Web de McKinsey & Company. www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/rethinking-the-water-cycle?reload
- Su, L., Miao, C., Kong, D., Duan, Q., Lei, X., Hou, Q. et Li, H. 2018. « Long-term trends in global river flow and the causal relationships between river flow and ocean signals ». *Journal of Hydrology*, Vol. 563, pp. 818–833. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.058
- Suède. 2018. *Implementati on Brief to HLPF on SDG 6 on Clean Water and Sanitation*. Stockholm, Suède. www.government.se/49f47b/content/assets/3bef47b49ed64a75bcd56ff053ccea/6—clean-water-and-sanitation.pdf
- Sugden, F., Maskey, N., Clement, F., Ramesh, V., Philip, A. et Rai, A. 2015. « Agrarian stress and climate change in the eastern Gangetic plains: Gendered vulnerability in a stratified social formation ». *Global Environmental Change*, Vol. 29, pp. 258–269. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.008
- Suriyagoda, N. 2017. *PPIAF Climate Change Strategy and Business Proposal for FY18-FY22*. Washington, D.C., Groupe de la Banque mondiale. documents.worldbank.org/curated/en/730391496765836681/PPIAF-climate-change-strategy-and-business-proposal-for-FY18-FY22
- Tall, A. et Brandon, C. J. 2019. *The World Bank Group's Action Plan on Climate Change Adaptation and Resilience: Managing Risks for a More Resilient Future*. Washington, D.C., Groupe de la Banque mondiale. documents.worldbank.org/curated/en/519821547481031999/The-World-Bank-Groups-Action-Plan-on-Climate-Change-Adaptation-and-Resilience-Managing-Risks-for-a-More-Resilient-Future
- Tan, A., Adam, J. C. et Lettenmaier, D. P. 2011. « Change in spring snowmelt timing in Eurasian Arctic rivers ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 116, n° 3D, pp. 1–12. doi.org/10.1029/2010JD014337
- Tänzler, D. et Kramer, A. 2019. *Climate and water: prospects for addressing co-benefits through climate finance*. Berlin, adelphi. À paraître.
- Tao, W. 2015. « Comparative analysis of greenhouse gas emission from three types of constructed wetlands ». *Forest Research*, Vol. 4, n° 2, e116. doi.org/10.4172/2168-9776.1000e116
- Tapley, B. D., Watkins, M., Flechtner, F., Reigber, C., Bettadpur, S., Rodell, M., Sasgen, I., Famiglietti, J., Landerer, F., Chambers, D., Reager, J., Gardner, A., Save, H., Ivins, E., Swenson, S., Boening, C., Dahle, C., Wiese, D., Dobslaw, H., Tamisiea, M. et Velicogna, I. 2019. « Contributions of GRACE to understanding climate change ». *Nature Climate Change*, Vol. 9, pp. 358–369. doi.org/10.1038/s41558-019-0456-2
- Tauro, F., Selker, J., Van de Giesen, N., Abrate, T., Uijlenhoet, R., Porfiri, M., Manfreda, S., Caylor, K., Moramarco, T., Benveniste, J., Ciruolo, G., Estes, L., Domeneghetti, A., Perks, M. T., Corbari, C., Rabiei, E., Ravazzani, G., Bogen, H., Harfouche, A., Brocca, L., Maltese, A., Wickert, A., Tarpanelli, A., Good, S., Lopez Alcala, J. M., Petroselli, A., Cudennec, C., Blume, T., Hut, R. et Grimaldi, S. 2018. « Measurements and observations in the XXI century (MOXXI): Innovation and multi-disciplinarity to sense the hydrological cycle ». *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 63, n° 2, pp. 169–196. doi.org/10.1080/02626667.2017.1420191
- Tavakol-Davani, H., Goharian, E., Hansen, C. H., Tavakol-Davani, H., Apul, D. et Burian, S. J. 2016. « How does climate change affect combined sewer overflow in a system benefiting from rainwater harvesting systems? » *Sustainable Cities and Society*, Vol. 27, pp. 430–438. dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.07.003
- Taylor, R. 2009. « Rethinking Water Scarcity: The Role of Storage ». *EoS*, Vol. 90, n° 28. doi.org/10.1029/2009E0280001
- Taylor, R. G., Koussis, A. D. et Tindimugaya, C. 2009. « Groundwater and climate in Africa—A review ». *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 54, n° 4, pp. 655–664. doi.org/10.1623/hysj.54.4.655
- Thebo, A. L., Drechsel, P., Lambin, E. F. et Nelson, K. L. 2017. « A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows ». *Environmental Research Letters*, Vol. 12, n° 7. doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1

- Thomas-Blate, J. 2018. *Dam Good Year for Dam Removal in 2017*. Site Web d'American Rivers. www.americanrivers.org/2018/02/dam-removal-in-2017/
- Thunberg, G. 2019. « If world leaders choose to fail us, my generation will never forgive them ». *The Guardian* (23 septembre 2019). www.theguardian.com/commentisfree/2019/sep/23/world-leaders-generation-climate-breakdown-greta-thunberg
- Timmerman, J. G., Matthews, J., Koepfel, S., Valensuela, D. et Vlaanderen, N. 2017. « Improving governance in transboundary cooperation in water and climate change adaptation ». *Water Policy*, Vol. 19, n° 6, pp. 1014–1029. doi.org/10.2166/wp.2017.156
- Tiwari, V. M., Wahr, J. et Swenson, S. 2009. « Dwindling groundwater resources in northern India, from satellite gravity observations ». *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L18401. doi.org/10.1029/2009GL039401
- Tompkins, E. L. et Adger, N. 2005. « Defining response capacity to enhance climate change policy ». *Environmental Science and Policy*, Vol. 8, n° 6, pp. 562–571. doi.org/10.1016/j.envsci.2005.06.012
- Tovar, C., Arnillas, C. A., Cuesta, F. et Buytaert, W. 2013. « Diverging responses of Tropical Andean biomes under future climate conditions ». *PLOS One*, Vol. 8, e63634. doi.org/10.1371/journal.pone.0063634
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R. et Sheffield, J. 2014. « Global warming and changes in drought ». *Nature Climate Change*, Vol. 4, pp. 17–22. doi.org/10.1038/nclimate2067
- Trevino-Garrison, I., DeMent, J., Ahmed, F. S., Haines-Lieber, P., Langer, T., Ménager, H., Neff, J., Van der Merwe, D. et Carney, E. 2015. « Human illnesses and animal deaths associated with freshwater harmful algal blooms—Kansas ». *Toxins*, Vol. 7, n° 2, pp. 353–366. doi.org/10.3390/toxins7020353
- Trommsdorf, C. 2015. *Can the Water Sector Deliver on Carbon Reduction?* Site Web d'International Water Association (IWA). iwa-network.org/can-the-water-sector-deliver-on-carbon-reduction/
- Tubiello, F. N. et Van der Velde, M. 2011. *Land and Water Use Options for Climate Change Adaptation and Mitigation in Agriculture*. State of Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) Background Thematic Report - TR04A. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_04a_web.pdf
- UCCRN (Réseau de recherche sur les changements climatiques urbains). 2018. *The Future We Don't Want*. Rapport technique. New York, UCCRN. uccrn.org/the-future-we-dont-want/
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature). 2017. *Ecosystem-Based Adaptation*. IUCN Issues Brief. Gland, Suisse, UICN. www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/ecosystem-based_adaptation_issues_brief_final.pdf
- _____. 2018. *Drylands and Climate Change*. Issues Brief. Site Web de l'UICN. www.iucn.org/resources/issues-briefs/drylands-and-climate-change
- UNDRR (Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe). 2015a. *Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015 – 2030*. Genève, Organisation des Nations Unies. www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf
- _____. 2015b. *Call for Good Practices: Integrating Gender in Early Warning Systems*. UNDRR. eird.org/call-integrating-gender/convocatoria-caribe-centroamerica-eng.pdf
- _____. 2017. *Words into Action Guidelines. National Disaster Risk Assessment: Governance System, Methodologies, and Use of Results*. Geneva, UNDRR. www.unisdr.org/files/52828_nationaldisasterriskassessmentwiagu.pdf
- _____. s.d. *Terminologie*. Site Web d'UNDRR. www.unisdr.org/we/inform/terminology
- UNDRR/CCNUCC/Bureau régional du PNUE pour l'Asie et le Pacifique (Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe/Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques/Bureau régional du Programme des Nations Unies pour l'environnement pour l'Asie et le Pacifique). 2019. *SDG Goal Profile: 13, Climate Action: Take Urgent Action to Combat Climate Change and its Impacts*. www.unescap.org/apfsd/6/document/sdgoalprofiles/SDG13Profile.pdf
- UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture). 2017. *Sandwatch : s'adapter aux changements climatiques et promouvoir l'éducation pour le développement durable*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260715_fre
- UNESCO-PHI (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture-Programme hydrologique international). 2015a. *GRAPHIC Groundwater and Climate Change: Mitigating the Global Groundwater Crisis and Adapting to Climate Change; Position Paper and Call to Action*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235713
- _____. 2015b. *GRAPHIC : eaux souterraines et changement climatique: petits Etats insulaires en développement (PEID)*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000242861_fre
- _____. 2018. *The UNESCO-IHP IIWQ World Water Quality Portal – Whitepaper*. UNESCO-PHI/Initiative internationale sur la qualité de l'eau (IIWQ) en partenariat avec EOMap. www.worldwaterquality.org
- UNESCO-PHI/PNUE (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture-Programme hydrologique international/Programme des Nations Unies pour l'environnement). 2016. *Transboundary Aquifers and Groundwater Systems of Small Island Developing States: Status and Trends*. Nairobi, PNUE. www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/TWAP%20Volume%201%20Transboundary%20Aquifers%20and%20Groundwater%20Systems%20of%20Small%20Island%20Developing%20States.pdf

- UNU-INWEH (Institut pour l'eau, l'environnement et la santé). 2017. *Climate Change Impacts on Health in the Arab Region: A Case Study on Neglected Tropical Diseases*. Regional Initiative for the Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources and Socio-Economic Vulnerability in the Arab Region (RICCAR) Technical Report. Beyrouth, E/ESCWA/SDPD/2017/RICCAR/TechnicalReport.1. digitallibrary.un.org/record/1324395
- UNU-INWEH/CESAP (Institut pour l'eau, l'environnement et la santé/Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique). 2013. *Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief*. Hamilton, Ont., Canada, Université des Nations Unies (UNU). collections.unu.edu/eserv/UNU:2651/Water-Security-and-the-Global-Water-Agenda.pdf
- USAID (Agence américaine pour le développement international). 2014. *A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections: African and Latin American Resilience to Climate Change (ARCC)*. USAID. www.ciesin.org/documents/Downscaling_CLEARED_000.pdf
- USDA (Département de l'agriculture des États-Unis). 2019 pp. *Farm Labor*. DAEU. www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-labor/
- US EPA (Agence américaine pour la protection de l'environnement). 2012. *Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990 - 2030*. Revised December 2012. Washington, D.C., AAPE. www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-non-co2-ghg-emissions-1990-2030
- _____. s.d. *Understanding Global Warming Potentials*. Site Web de l'AAPE. www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials
- Valentine, H. 2017. *Global Potential for Towing Icebergs*. The Maritime Executive. www.maritime-executive.com/editorials/global-potential-for-towing-icebergs
- Van der Hoek, J. P., Duijff, R. et Reinstra, O. 2018. « Nitrogen recovery from wastewater: Possibilities, competition with other resources, and adaptation pathways ». *Sustainability*, Vol. 10, n° 12, 4605. doi.org/10.3390/su10124605
- Van Etten, J., De Sousa, K., Aguilar, A., Barrios, M., Coto, A., Dell'Acqua, M., Fadda, C., Gebrehawaryat, Y., Van de Gevel, J., Gupta, A., Kiros, A. Y., Madriz, B., Mathur, P., Mengistu, D. K., Mercado, L., Nurhisen Mohammed, J., Paliwal, A., Pè, M. E., Quirós, C. F., Rosas, J. C., Sharma, N., Singh, S. S., Solanki, I. S. et Steinke, J. 2019. « Crop variety management for climate adaptation supported by citizen science ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 116, n° 10, pp. 4194–4199. doi.org/10.1073/pnas.1813720116
- Van Herk, S., Zevenbergen, C., Gersonius, B., Waals, H. et Kelder, E. 2013. « Process design and management for integrated flood risk management: Exploring the multi-layer safety approach for Dordrecht, The Netherlands ». *Journal of Water and Climate Change*, Vol. 5, n° 1, pp. 100–115. doi.org/10.2166/wcc.2013.171
- Van Loon, A. F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A. I. J. M., Stahl, K., Hannaford, J., Di Baldassarre, G., Teuling, A. J., Tallaksen, L. M., Uijlenhoet, R., Hannah, D. M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T., Rangelcroft, S., Wanders, N. et Van Lanen, H. A. J. 2016. « Drought in the Anthropocene ». *Nature Geoscience*, Vol. 9, n° 2, pp. 89–91. doi.org/10.1038/ngeo2646
- Van Vliet, M., Wiberg, D., Leduc, S. et Riahi, K. 2016. « Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources ». *Nature Climate Change*, Vol. 6, pp. 375–380. doi.org/10.1038/nclimate2903
- Veolia. 2014. *Le plus grand producteur d'acier de Chine confie à Veolia le traitement de ses eaux industrielles à Tangshan, pour 390 millions d'euros*. Communiqué de presse, 21 octobre 2014. Site Web de Veolia. www.veolia.com/en/veolia-group/media/press-releases/china-s-largest-steelmaker-chooses-veolia-its-industrial-wastewater-treatment-facilities-tangshan-390-million-euros
- Verma, S., Kashyap, D., Shah, T., Crettaz, M. et Sikka, A. 2018. *Solar Irrigation for Agriculture Resilience (SoLAR). A New SDC-IWMI Regional Partnership*. Document de discussion n° 3 de la Direction du développement et de la coopération suisse (DDC) et de l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). Colombo, IWMI. www.iwmi.cgiar.org/iwmi-tata/PDFs/iwmi-tata_water_policy_discussion_paper_issue_03_2018.pdf
- Vermeulen, S. J., Challinor, A. J., Thornton, P. K., Campbell, B. M., Eriyagama, N., Vervoort, J. M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Nicklin, K. J., Hawkins, E. et Smith, D. R. 2013. « Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 110, n° 21, pp. 8357–8362. doi.org/10.1073/pnas.1219441110
- Ville de Cape Town. 2019. *Cape Town Water Strategy: Our Shared Water Future*. resource.capetown.gov.za/documentcentre/Documents/City%20strategies,%20plans%20and%20frameworks/Cape%20Town%20Water%20Strategy.pdf
- Von Korff, Y., D'Aquino, P., Daniell, K. A. et Bijlsma, R. M. 2010. « Designing participation processes for water management and beyond. Synthesis, part of a special feature on implementing participatory water management: recent advances in theory, practice and evaluation ». *Ecology and Society*, Vol. 15, n° 3, p. 1. doi.org/10.5751/ES-03329-150301
- WaCCliM (Services d'eau et d'assainissement pour l'atténuation des changements climatiques). 2017a. *Our Approach*. Site Web de WaCCliM. wacclim.org/our-approach/
- _____. 2017b. *Our Impact*. Site Web de WaCCliM. wacclim.org/our-impact/
- Wada, Y. et Bierkens, M. F. P. 2014. « Sustainability of global water use: Past reconstruction and future projections ». *Environmental Research Letters*, Vol. 9, n° 10, 104003. doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003
- Wada, Y., Van Beek, L. P. H., Van Kempen, C. M., Reckman, J. W. T. M., Vasak, S. et Bierkens, M. F. P. 2010. « Global depletion of groundwater resources ». *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, n° 20, L20402. doi.org/10.1029/2010GL044571

- Wallis, P. J., Ward, M. B., Pittock, J., Hussey, K., Bamsey, H., Denis, A., Kenway, S. J., King, C. W., Mushtaq, S., Retamal, M. L. et Spies, B. R. 2014. « The water impacts of climate change mitigation measures ». *Climatic Change*, Vol. 125, n° 2, pp. 209–220. doi.org/10.1007/s10584-014-1156-6
- Wang, A., Lettenmaier, D. P. et Sheffield, J. 2011. « Soil moisture drought in China, 1950–2006 ». *Journal of Climate*, Vol. 24, n° 13, pp. 3257–3271. doi.org/10.1175/2011JCLI3733.1
- Wang, J., Schleifer, L. et Zhong, L. 2017. *No Water, No Power*. Washington, D.C., WRI. www.wri.org/blog/2017/06/no-water-no-power
- Wang, X., Daigger, G., Lee, D. J., Liu, J., Ren, N. Q., Qu, J., Liu, G. et Butler, D. 2018. « Evolving wastewater infrastructure paradigm to enhance harmony with nature ». *Science Advances*, Vol. 4, n° 8, eaaq0210. doi.org/10.1126/sciadv.aaq0210
- Wang, R. Q., Mao, H., Wang, Y., Rae, C. et Shaw, W. 2018. « Hyper-resolution monitoring of urban flooding with social media and crowdsourcing data ». *Computers & Geosciences*, Vol. 111, pp. 139–147. doi.org/10.1016/j.cageo.2017.11.008
- Water Reuse Europe. 2018. *Water Reuse Europe*. Review 2018. www.water-reuse-europe.org/news-events/wre-activities/water-reuse-europe-review-2018/
- Water UK. 2011. *Sustainability Indicators 2010-2011*. Londres.
- _____. 2016. *Water Resources Long Term Planning Framework (2015–2065)*. Rapport technique. Water UK. www.water.org.uk/publication/water-resources-long-term-planning/
- Watts, N., Adger, W. N., Ayeb-Karlsson, S., Bai, Y., Byass, P., Campbell-Lendrum, D., Colbourn, T., Cox, P., Davies, M., Depledge, M., Depoux, A., Dominguez-Salas, P., Drummond, P., Ekins, P., Flahault, A., Grace, D., Graham, H., Haines, A., Hamilton, I., Johnson, A., Kelman, I., Kovats, S., Liang, L., Lott, M., Lowe, R., Luo, Y., Mace, G., Maslin, M., Morrissey, K., Murray, K., Neville, T., Nilsson, M., Oreszczyn, T., Parthemore, C., Pencheon, D., Robinson, E., Schütte, S., Shumake-Guillemot, J., Vineis, P., Wilkinson, P., Wheeler, N., Xu, B., Yang, J., Yin, Y., Yu, C., Gong, P., Montgomery, H. et Costello, A. 2018. « The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: From 25 years of inaction to a global transformation for public health ». *The Lancet*, Vol. 392, n° 10163, pp. 2479–2514. doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32464-9
- WBCSD (Conseil mondial des entreprises pour le développement durable). 2009. *Water, Energy and Climate Change: A Contribution from the Business Community*. Genève, WBCSD. www.wbcsd.org/Programs/Food-Land-Water/Water/Resources/A-contribution-from-the-business-community
- _____. 2017. *Business Guide to Circular Water Management: Spotlight on Reduce, Reuse and Recycle*. Genève, WBCSD. www.wbcsd.org/Programs/Food-Land-Water/Water/Resources/spotlight-on-reduce-reuse-and-recycle
- Wendland, C., Yadav, M., Stock, A. et Seager, J. 2017. « Gender, women and sanitation ». Rose, J. B. et Jiménez-Cisneros, B. (eds), *Global Water Pathogen Project. Part 1 The Health Hazards of Excreta: Theory and Control*. East Lansing, Mich., États-Unis/Paris, Université d'État du Michigan/UNESCO. doi.org/10.14321/waterpathogens.4
- White, M. 2018. *Watering the Paris Agreement at COP24*. Blog de SIWI. www.siwi.org/latest/watering-the-paris-agreement-at-cop24/
- Wiggins, E. B., Czimeczik, C. I., Santos, G. M., Chen, Y., Xu, X., Holden, S. R., Randerson, J. T., Harvey, C. F., Kai, F. M. et Yu, L. E. 2018. « Smoke radiocarbon measurements from Indonesian fires provide evidence for burning of millennia-aged peat ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 115, n° 49, pp. 12419–12424. doi.org/10.1073/pnas.1806003115
- Wilby, R. L. 2011. « Adaptation: Wells of wisdom ». *Nature Climate Change*, Vol. 1, n° 6, pp. 302–303. doi.org/10.1038/nclimate1203
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clarck, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Sibanda, L. M., Afshin, A., Chaudhary, A., Herrero, M., Agustina, R., Branca, F., Lartey, A., Fan, S., Crona, B., Fox, E., Bignet, V., Troell, M., Lindahl, T., Singh, S., Cornell, S. E., Reddy, K. S., Narain, S., Nishtar, S. et Murray, C. J. L. 2019. « Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems ». *The Lancet*, Vol. 393, n° 10170, pp. 447–492. doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4
- Winn, P. 2011. *Tech World Still Shudders after Thai Floods*. Public Radio International (PRI) (16 décembre 2011). www.pri.org/stories/2011-12-16/tech-world-still-shudders-after-thai-floods
- Winsemius, H. C., Jongman, B., Veldkamp, T., Hallegatte, S., Bangalore, M. et Ward, P. 2015. *Disaster Risk, Climate Change, and Poverty: Assessing the Global Exposure of Poor People to Floods and Droughts*. World Bank Policy Research Working Paper n° 7480. Washington, D.C., Banque mondiale. documents.worldbank.org/curated/en/965831468189531165/pdf/WPS7480.pdf
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. et Davis, I. 2003. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. Deuxième édition. Londres, Routledge. www.preventionweb.net/files/670_72351.pdf
- Wolf, J., Johnston, R., Hunter, P. H., Gordon, B., Medlicott, K. et Prüss-Ustün, A. 2019. « A Faecal Contamination Index for interpreting heterogeneous diarrhea impacts of water, sanitation and hygiene interventions and overall, regional and country estimates of community sanitation coverage with a focus on low- and middle-income countries ». *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 222, n° 2, pp. 270–282. doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.11.005
- Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlík, P., Obersteiner, M., Tubiello, F. N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., Van Vuuren, D. P., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B. O., Wassmann, R., Sommer, R., Amonette, J. E., Falcucci, F., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R. M., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M. C., Thornton, P. K., Verchot, L., West, P. C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sandler, M., Vermeulen, S. et Campbell, B. M. 2016. « Reducing emissions from agriculture to meet the 2°C target ». *Global Change Biology*, Vol. 22, n° 12, pp. 3859–3864. doi.org/10.1111/gcb.13340

- WEF (Forum économique mondial). 2019. *The Global Risks Report 2019*. 14th édition. Genève, WEF. www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019
- WRI (Institut des ressources mondiales). 2019. *Site Web d'Aqueduct-WRI*. www.wri.org/aqueduct
- WWAP (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau). 2012. *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris, UNESCO. www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/#c270421
- _____. 2014. *The United Nations World Water Development Report 2014*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225741/
- _____. 2015. *The United Nations World Water Development Report 2015*. Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO. 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, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244163
- _____. 2017. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 : Les eaux usées : une ressource inexploitée*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247551
- _____. 2019. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019 : Ne laisser personne pour compte*. Paris, UNESCO. fr.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019
- WWAP/ONU-Eau (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau/ONU-Eau). 2018. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2018 : les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261466
- WWF (Fonds Mondial pour la Nature). 2018. *Living Planet Report 2018: Aiming Higher*. Gland, Suisse, WWF. www.worldwildlife.org/pages/living-planet-report-2018
- Yang, S. et Ferguson, S. 2010. « Coastal reservoirs can harness stormwater ». *Water Engineering Australia*, Vol. 8, pp. 25–27.
- Yeleliere, E., Cobbina, S. J. et Duwiewijuh, A. B. 2018. « Review of Ghana's water resources: The quality and management with particular focus on freshwater resources ». *Applied Water Science*, Vol. 8, art. 93. doi.org/10.1007/s13201-018-0736-4
- Yuan, X., Wang, L. et Wood, E. F. 2018. « Anthropogenic intensification of southern Africa flash droughts as exemplified by the 2015/16 season ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 99, n° 1, pp. S86–S90. doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0077.1
- Zandaryaa, S. et Mateo-Sagasta, J. 2018. « Organic matter, pathogens and emerging pollutants ». Mateo-Sagasta, J., Marjani Zadeh, S. et Turrall, H. (eds), *More People, More Food, Worse Water? A Global Review of Water Pollution from Agriculture*. Rome/Colombo, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Institut international de gestion des ressources en eau (FAO/IWMI), pp. 125–138. www.fao.org/3/ca0146en/CA0146EN.pdf
- Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L. et Tockner, K. 2015. « A global boom in hydropower dam construction ». *Aquatic Sciences*, Vol. 77, n° 1, pp. 161–170. doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0
- Zgheib, N. 2018. *EBRD and EU to Support Expansion of As Samra Wastewater Treatment Plant in Jordan*. Article sur le site Web de la Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD). www.ebrd.com/news/2018/ebrd-and-eu-to-support-expansion-of-as-samra-wastewater-treatment-plant-in-jordan-.html
- Zou, X., Li, Y., Li, K., Cremades, R., Gao, Q., Wan, Y. et Qin, X. 2013. « Greenhouse gas emissions from agricultural irrigation in China ». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 20, n° 2, pp. 295–315. doi.org/10.1007/s11027-013-9492-9

Y

Z

Sigles et acronymes

AFAUT	Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres
AGNU	Assemblée générale des Nations Unies
AGWA	Partenariat pour l'eau à usage agricole en Afrique
AIC	Agriculture intelligente face au climat
AIE	Agence internationale de l'énergie
ARC	Mutuelle panafricaine de gestion des risques
AVCI	Années de vie corrigées du facteur incapacité
BAFWAC	Business Alliance for Water and Climate
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CCPA	Évaluation des politiques relatives aux changements climatiques
CCSGNU	Conseil consultatif du Secrétaire général des Nations Unies sur l'eau et l'assainissement
CDN	Contribution déterminée au niveau national
CDP	Carbon Disclosure Project – Projet de divulgation des émissions de carbone
CEA	Commission économique pour l'Afrique
CEE	Commission économique pour l'Europe
CEPAL	Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes
CESAO	Commission économique et sociale pour l'Asie occidentale
CESAP	Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique
CMIP	Projet de comparaison de modèles couplés
COP	Conférence des Parties
CRE	Commissions régionales des Nations Unies
CPDN	Contribution prévues déterminée au niveau national
CREM	Coopération régionale dans le secteur de l'eau au Maghreb
CRIDA	CRIDA Climate Risk Informed Decision Analysis
CRIDF	Mécanisme de développement d'infrastructures résilientes aux changements climatiques
AVCI	Années de vie ajustées sur l'incapacité
EbA	Ecosystem-based adaptation – Adaptation fondée sur les écosystèmes
ECOSOC	Conseil économique et social
PEI	Parc éco-industriel
ENSO	El Niño/oscillation australe
ETP	Évapotranspiration potentielle
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
FMI	Fonds monétaire international
FOSS	Free and Open Source Software – Logiciel libre et gratuit
FPHN	Forum politique de haut niveau
GCA	Global Commission on Adaptation – Commission mondiale sur l'adaptation
GDT	Gestion durable des terres
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH – Agence allemande de coopération internationale
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
GWP	Global Water Partnership – Partenariat mondial pour l'eau
HABs	Harmful algae blooms – Efflorescences algales nuisibles
HELP	High-level Experts and Leaders Panel on Water and Disasters – Panel d'experts de dirigeants de haut niveau sur l'eau et les catastrophes
IA	Intelligence Artificielle
ICPDR	International Commission for the Protection of the Danube River – Commission internationale pour la protection du Danube
IDC	Irrigation déficitaire contrôlée

IdO	Internet des objets
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Eco-system Services – Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques
IWMI	Institut international de gestion des ressources en eau
KJWA	Koronivia Joint Work on Agriculture – Action commune de Koronivia pour l'agriculture
MAR	Managed aquifer recharge – Gestion de la recharge des aquifères
MCC	Millennium Challenge Corporation
MCG	Modèle de circulation générale
MPGCA	Marrakech Partnership Global Climate Action Agenda – Partenariat de Marrakech pour l'action mondiale en faveur du climat
NASA	National Aeronautics and Space Administration – Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectifs de développement durable
OIT	Organisation internationale du Travail
OMD	Objectifs du millénaire pour le développement
OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
OPCC	Observatorio Pirenaico del Cambio Climático – Observatoire pyrénéen des changements climatiques
OSCE	Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe
PAM	Programme alimentaire mondial
PANA	Programme d'action national aux fins de l'adaptation
PEI	Parc éco-industriel
PEID	Petits États insulaires en développement
PHI	Programme Hydrologique Intergouvernemental
PIB	Produit intérieur brut
PIS	Projet d'irrigation solaire
PMA	Pays les moins avancés
PNA	Plan national d'adaptation
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement
PPIAF	Public-Private Infrastructure Advisory Facility – Mécanisme consultatif pour le renforcement des infrastructures par des partenariats public-privé
PV	Photovoltaïque
RCP	Representative Concentration Pathway – Profils représentatifs d'évolution de concentration
RICCAR	Regional Initiative for the Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources and Socio-Economic Vulnerability in the Arab Region – Initiative pour l'évaluation de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et la vulnérabilité socio-économique dans la région arabe
RPJMN	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional – Plan de développement national à moyen terme
RRC	Réduction des risques de catastrophe
SfN	Solutions fondées sur la nature
SIG	Système d'information géographique
SIWI	Stockholm International Water Institute – Institut international de l'eau à Stockholm
TDA	Analyse diagnostique transfrontière
TIC	Technologie d'information de communication
UE	Union européenne
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNDRR	Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
USAID	Agence américaine pour le développement international
WaCCliM	Services d'eau et d'assainissement pour l'atténuation des changements climatiques
WASH	Eau, assainissement et hygiène
WBCSD	Conseil mondial des entreprises pour le développement durable
WINS	Système de réseau d'information sur l'eau

Encadrés, figures et tableaux

Encadrés

Encadré 1.1	Définitions.....	37
Encadré 2.1	Initiatives de haut niveau lancées par les dirigeants de pays et l'Organisation des Nations Unies	52
Encadré 2.2	Progrès lors de la 74 ^e Assemblée générale des Nations Unies (septembre 2019)	53
Encadré 3.1	Réservoirs côtiers comme option d'approvisionnement en eau pour les villes côtières	58
Encadré 3.2	50 ans de récupération directe de l'eau à Windhoek, Namibie	67
Encadré 6.1	Agriculture intelligente face au climat	91
Encadré 6.2	Rendre visible l'utilisation de l'eau destinée à l'agriculture dans le cadre du processus des conférences des Nations Unies sur les changements climatiques.....	92
Encadré 6.3	Potentiel d'irrigation déficitaire et d'appoint sous l'effet de la variabilité climatique dans une zone semi-aride : Le cas d'une savane au Togo.....	100
Encadré 6.4	L'ascension rapide du développement du pompage solaire	106
Encadré 7.1	Entreprises et changements climatiques	115
Encadré 7.2	Exemples de gestion des eaux circulaires industrielles	119
Encadré 7.3	Parcs éco-industriels.....	121
Encadré 8.1	Stratégie collaborative sur les ressources en eau après la sécheresse au Cap	130
Encadré 8.2	Analyse de la pénurie d'eau à São Paulo, Brésil	132
Encadré 9.1	Biocarburants	136
Encadré 9.2	Impacts des changements climatiques et de la gestion durable des terres sur la disponibilité des ressources en eau.....	139
Encadré 10.1	Initiatives transfrontalières et régionales sur le climat et l'eau : perspective européenne	148
Encadré 10.2	Enseignements tirés de l'intégration de l'adaptation aux changements climatiques au processus de planification dans le bassin de Chu-Talas au Kazakhstan et au Kirghizistan	154
Encadré 10.3	Changements climatiques : compliquer tout en stimulant la coopération transfrontalière sur le Mékong	162
Encadré 11.1	Programme d'action national d'adaptation pour la sécurité de l'eau au niveau local au Bhoutan	173
Encadré 11.2	Gestion des bassins versants dans le cadre de la réduction des risques de catastrophes – Restauration des pentes des bassins des Gonaïves, Haïti	179
Encadré 12.1	Pertes évitées liées aux inondations au Mexique	182
Encadré 12.2	Atténuation des effets des changements climatiques dans le domaine de l'eau et des eaux usées.....	184
Encadré 12.3	Regroupement de projets dans les bassins hydrographiques transfrontaliers africains.....	186
Encadré 12.4	Le Fonds vert pour le climat et la gestion de l'eau au Sri Lanka	188
Encadré 12.5	Financement climatique bilatéral pour la gestion de l'eau au Népal, au Pérou et en Ouganda	189
Encadré 12.6	Critères relatifs aux infrastructures d'adduction d'eau des obligations climatiques	190
Encadré 13.1	Système de réseau d'information sur l'eau pour assurer l'interface science-politique.....	199

Figures

Figure 1	Interactions entre l'eau et d'autres secteurs socioéconomiques majeurs touchés par la variabilité du climat et les changements climatiques.....	14
Figure 2	Émissions anthropiques mondiales de CO ₂ (1850–2011)	15
Figure 3	Augmentation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère	15

Figure 4	Anomalies dans les températures mondiales moyennes par rapport à la température de référence de 1850–1900 pour les cinq ensembles de données sur la température mondiale	16
Figure 5	Cinquième phase de l'exercice de comparaison de modèles couplés (CMIP5) – Projections climatiques moyennes fondées sur les données multimodèles.....	17
Figure 6	Changement dans la moyenne annuelle et la fréquence des jours secs (jours/an) d'ici 2060–2089 par rapport à la période historique 1960–1989, fondées sur l'ensemble de modèles CMIP5 en utilisant le scénario RCP8.5	18
Figure 7	Schéma du cycle global de l'eau à l'ère anthropocène	19
Figure 8	Tendances des scénarios relatifs aux changements climatiques et à la disponibilité de l'eau	20
Figure 9	Niveau d'indicateurs de base annuel du stress hydrique	22
Figure 10	Variabilité saisonnière de l'approvisionnement en eau	22
Figure 11	Diminution de la disponibilité de l'eau en milieu urbain	23
Figure 12	Cultures principales exposées à des conditions plus sèches.....	24
Figure 13	Cultures principales exposées à des conditions plus humides	25
Figure 14	Taux mondial de prélèvements d'eau au cours du 20 ^e siècle	26
Figure 15	Catastrophes naturelles mondiales liées au climat, par risque et par nombre d'événements pertinents, 1980–2017	27
Figure 16	Indice mondial de sévérité des sécheresses, 2017	28
Figure 17	Évolution du bilan de masse des 41 glaciers de référence surveillés par le Service mondial de surveillance des glaciers (WGMS)	32
Figure 2.1	Relier les points communs	46
Figure 2.2	ODD 13 : Cibles portant sur l'eau ou dépendant de l'eau.....	46
Figure 2.3	Domaines et secteurs prioritaires pour les actions d'adaptations identifiées dans la composante d'adaptation des CPDN transmises	49
Figure 2.4	Aléas climatiques clés identifiés dans la composante d'adaptation des CPDN.....	49
Figure 2.5	L'eau comme vecteur d'engagements pris au niveau mondial en 2015	51
Figure 3.1	Exemples de ressources en eau et de technologies non conventionnelles.....	62
Figure 3.2	Consommation d'électricité dans le secteur de l'eau, par procédé, 2014–2040.....	65
Figure 4.1	Répartition spatiale des catastrophes liées à l'eau (sécheresses, inondations, glissements de terrain et tempêtes), 2001–2018	70
Figure 4.2	Répartition spatiale des inondations, 2001–2018	70
Figure 4.3	Répartition spatiale des sécheresses, 2001–2018	71
Figure 4.4	Évaluations descendante et ascendante des risques liés au climat	72
Figure 4.5	Cadre conceptuel d'un régime d'assurance contre les inondations basées sur des indices, de la conception à la mise en œuvre	75
Figure 6.1	Pourcentage de la superficie équipée pour l'irrigation	96
Figure 6.2	Réponses de l'agriculture intelligente liées à l'eau au niveau local	99
Figure 6.3	Émissions issues des secteurs de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres, en GtCO ₂	102
Figure 6.4	Émissions de gaz à effet de serre des filières d'élevage mondiales de bétail.....	103
Figure 7.1	Stress hydrique et risques pour les entreprises.....	110
Figure 7.2	Catégories d'impacts des changements climatiques sur les entreprises.....	112
Figure 7.3	Intensités hydrique et énergétique des principales industries.....	115
Figure 7.4	Empreinte eau indicative et intensité de carbone de la production énergétique, par source	116
Figure 7.5	Gestion circulaire de l'eau.....	119
Figure 7.6	Adaptation au climat et stratégie d'entreprise.....	123

Figure 8.1	Estimation et projection des populations urbaines du monde, des régions les plus développées et des régions les moins développées, 1950–2050	125
Figure 8.2	Nombre de personnes vivant en conditions de stress hydrique selon le scénario de référence.....	129
Figure 9.1	Avantages connexes des projets liés à l'eau dans le cadre du Fonds vert pour le climat	141
Figure 10.1	Mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), par la Commission régionale des Nations Unies.....	145
Figure 10.2	Priorisation des infrastructures et renforcement institutionnel pour améliorer les ressources en eau identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)	146
Figure 10.3	Référence à la planification de l'eau dans les Contributions déterminées au niveau national (CDN).....	147
Figure 10.4	Portefeuilles, propositions et coûts des projets sur l'eau identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)	148
Figure 11.1	Emplacement du mécanisme de coordination identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN)	171
Figure 11.2	Actions prioritaires dans le domaine de l'eau pour adaptation identifiées dans les contributions déterminées au niveau national (CDN).....	172
Figure 11.3	Tâches liées à l'analyse des décisions éclairées en rapport avec les risques climatiques dans un cadre de planification type.....	176
Figure 12.1	Ratio du financement de l'atténuation par rapport au financement de l'adaptation, par source.....	183

Tableaux

Tableau 3.1	Exemples d'options d'adaptation au climat pour des systèmes d'assainissement spécifiques	60
Tableau 5.1	Impacts sur la santé de l'eau insalubre et de l'assainissement qui peuvent être exacerbés par les changements climatiques	81
Tableau 5.2	Charge de morbidité due à l'inadéquation des services d'eau, d'assainissement et d'hygiène pour l'année 2016.....	81
Tableau 5.3	Impacts sur la santé des expositions à la variabilité et aux changements climatiques : rapports de causalité.....	84
Tableau 5.4	Principales mesures d'adaptation et d'atténuation mises en place par éléments constitutifs du système de santé	87
Tableau 6.1	Typologie des effets des changements climatiques sur la gestion de l'eau dans les principaux systèmes agricoles	94
Tableau 7.1	Demande en eau du secteur de l'industrie par continent, 2010 et 2050 (scénario moyen).....	109
Tableau 7.2	Exemples des effets de l'eau sur la production énergétique	111
Tableau 7.3	Risques liés aux changements climatiques pour certains principaux secteurs d'entreprises	113
Tableau 10.1	Aperçu des pays d'Afrique subsaharienne : comment sont abordés la problématique des changements climatiques liés à l'eau dans la stratégie et la mise en œuvre.....	150
Tableau 10.2	Aperçu des pays d'Europe, du Caucase et d'Asie centrale : comment les changements climatiques liés à l'eau sont pris en compte dans leurs stratégies et sa mise en œuvre.....	153
Tableau 10.3	Aperçu des pays d'Amérique latine et des Caraïbes : comment les changements climatiques liés à l'eau sont pris en compte dans leur stratégie et la mise en œuvre	157
Tableau 10.4	Aperçu des pays d'Asie et du Pacifique : comment les changements climatiques liés à l'eau sont pris en compte dans leur stratégie et leur mise en œuvre	160
Tableau 10.5	Aperçu des pays d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord : comment les changements climatiques liés à l'eau sont pris en compte dans leurs stratégies et sa mise en œuvre.....	164

Crédits photographiques

Résumé	p. x	© piyaset/iStock/Getty Images
Prologue	p. 12	© MP cz/Shutterstock.com
Chapitre 1	p. 34 p. 42	© Fernando.RM/Shutterstock.com © SHansche/iStock/Getty Images
Chapitre 2	p. 44	© Drop of Light/Shutterstock.com
Chapitre 3	p. 54 p. 66	© Julio Ricco/Shutterstock.com © US EPA, www.flickr.com
Chapitre 4	p. 68	© Ihor Serdyukov/Shutterstock.com
Chapitre 5	p. 78	© Farizul Hafiz Stock/Shutterstock.com
Chapitre 6	p. 88	© A'Melody Lee/World Bank, www.flickr.com, Creative Commons (CC BY-NC-ND 2.0)
Chapitre 7	p. 108	© Avigator Photographer/iStock/Getty Images
Chapitre 8	p. 124 p. 132	© Sakaret/Shutterstock.com © DmitryVPetrenko/iStock/Getty Images
Chapitre 9	p. 134 p. 141	© Tofan Singh Chouhan/Shutterstock.com © nofilm2011/Shutterstock.com
Chapitre 10	p. 142	© Ryan Fletcher/Shutterstock.com
Chapitre 11	p. 168 p. 179	© Holli/Shutterstock.com © Timon Goertz/Shutterstock.com
Chapitre 12	p. 180 p. 192	© Mariusz Szczygiel/iStock/Getty Images © TY Lim/Shutterstock.com
Chapitre 13	p. 194	NASA, www.flickr.com, Creative Commons (CC BY-NC 2.0)
Chapitre 14	p. 200 p. 204	© chaiyon021/iStock/Getty Images © handynyah/iStock/Getty Images



ISBN 978-92-3-200168-9

© UNESCO 2019

216 pages

Prix : EUR 45.00

WWDR 2019 En couleur, avec encadrés, figures, cartes, tableaux, notes, photographies, listes des références et des abréviations, ainsi que l'Avant-propos de la Directrice générale de l'UNESCO Audrey Azoulay et du Président d'ONU-Eau et Président de l'IFAD Gilbert F. Hounbo

ISBN 978-92-3-200197-9

© UNESCO 2020

260 pages

Prix : EUR 45.00

WWDR 2020 En couleur, avec encadrés, figures, cartes, tableaux, notes, photographies, listes des références et des abréviations ainsi que l'Avant-propos de la Directrice générale de l'UNESCO Audrey Azoulay et du Président d'ONU-Eau et Président de l'IFAD Gilbert F. Hounbo

Pour télécharger les formats PDF du rapport et des publications associées, d'anciennes éditions du WWDR et du matériel multimédia, rendez-vous à l'adresse suivante : www.unesco.org/water/wwap

Contenu de la clé USB : Le WWDR 2020 en anglais et en français ; le *Résumé* en neuf langues ; les *Faits et Chiffres* en cinq langues ; et les éditions précédentes du WWDR

PUBLICATIONS ASSOCIÉES



Résumé du WWDR 2019

12 pages

Disponible en allemand, anglais, arabe, chinois, espagnol, français, russe, coréen, hindi, italien et portugais



Faits et Chiffres du WWDR 2019

12 pages

Disponible en anglais, espagnol, français, italien et portugais



Résumé du WWDR 2020

12 pages

Disponible en allemand, anglais, arabe, chinois, espagnol, français, russe, coréen, hindi, italien et portugais



Faits et Chiffres du WWDR 2020

16 pages

Disponible en anglais, espagnol, français, italien et portugais

Pour télécharger ces documents, rendez-vous à l'adresse suivante : www.unesco.org/water/wwap

ONU-Eau coordonne les efforts des entités des Nations Unies et des organisations internationales qui travaillent sur les questions d'eau et d'assainissement. Ce faisant, ONU-Eau cherche à accroître l'efficacité de l'appui fourni aux États Membres dans leurs efforts pour parvenir à des accords internationaux sur l'eau et l'assainissement. Les publications d'ONU-Eau s'appuient sur l'expérience et l'expertise des Membres et Partenaires d'ONU-Eau.

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

Le *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) des Nations Unies* est le rapport phare de l'ONU-Eau sur les questions d'eau et d'assainissement, qui aborde un thème différent chaque année. Le rapport est publié par l'UNESCO, au nom de l'ONU-Eau, et sa production est coordonnée par le Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO (WWAP). Le rapport donne un aperçu des principales tendances concernant l'état, l'utilisation et la gestion de l'eau douce et de l'assainissement, sur la base des travaux réalisés par les membres et les partenaires de l'ONU-Eau. Lancé à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau, le WWDR met à disposition des décideurs un éventail de connaissances et d'outils pour bien formuler et mettre en œuvre des politiques durables en matière d'eau. Il propose également des meilleures pratiques et des analyses approfondies pour cultiver les idées et galvaniser les actions en vue d'une meilleure gestion dans le secteur de l'eau et au-delà.

Rapport de synthèse 2018 sur l'Objectif de développement durable 6 relatif à l'eau et l'assainissement

Le Rapport de synthèse 2018 sur l'ODD 6 relatif à l'eau et l'assainissement a été publié en juin 2018 avant le Forum politique de haut niveau sur le développement durable où les États membres ont examiné en profondeur l'ODD 6. Représentant une position commune de la famille des Nations Unies, le rapport offre des conseils pour comprendre les progrès mondiaux sur l'ODD 6 et ses interdépendances avec d'autres objectifs et cibles.

Rapports sur les indicateurs de l'Objectif de développement durable 6

Cette série de rapports montre les progrès accomplis dans la réalisation des cibles fixées dans l'ODD 6 en utilisant les indicateurs globaux des ODD. Les rapports sont fondés sur les données des pays, compilées et vérifiées par les organismes des Nations Unies qui sont les gardiens de chaque indicateur.

Analyse et évaluation mondiales d'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS)

GLAAS est produit par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour le compte d'ONU-Eau. Il fournit une mise à jour globale sur les cadres politiques, les mécanismes institutionnels, la base de ressources humaines et les flux financiers internationaux et nationaux en faveur de l'assainissement et de l'eau potable. Il s'agit d'une contribution de fond aux activités d'Assainissement et d'eau pour tous (SWA).

Le rapport d'activité du Programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'approvisionnement en eau, de l'assainissement et de l'hygiène

Ce rapport est affilié à ONU-Eau et présente les résultats du suivi mondial des progrès réalisés en matière d'accès à l'eau potable à un prix abordable, ainsi qu'à un assainissement et une hygiène adéquats et équitables. Le suivi s'appuie sur les résultats des enquêtes sur les ménages et des recensements généralement appuyés par les bureaux nationaux de statistique conformément aux critères internationaux et s'appuie de plus en plus sur les ensembles de données administratives et réglementaires nationales.

Politiques et notes analytiques

Les notes d'orientation d'ONU-Eau fournissent des orientations politiques courtes et informatives sur les questions les plus urgentes liées à l'eau douce, en s'appuyant sur l'expertise combinée du système des Nations Unies. Les mémoires analytiques fournissent une analyse des questions émergentes et peuvent servir de base à des recherches, des discussions et des orientations politiques futures.

PUBLICATIONS DE L'ONU-EAU PRÉVUES EN 2020

- Note d'orientation d'ONU Eau sur les Conventions de l'eau
- Mémoire analytique d'ONU Eau sur les ressources en eau non conventionnelles
- Mémoire analytique d'ONU Eau sur l'efficacité de l'eau

Le *Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau (WWDR) des Nations Unies* est le rapport phare de l'ONU-Eau sur les questions d'eau et d'assainissement, qui aborde un thème différent chaque année. Le rapport est publié par l'UNESCO, au nom de l'ONU-Eau, et sa production est coordonnée par le Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau de l'UNESCO (WWAP). Le rapport donne un aperçu des principales tendances concernant l'état, l'utilisation et la gestion de l'eau douce et de l'assainissement, sur la base des travaux réalisés par les membres et les partenaires de l'ONU-Eau. Lancé à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau, le WWDR met à disposition des décideurs un éventail de connaissances et d'outils pour bien formuler et mettre en œuvre des politiques durables en matière d'eau. Il propose également des meilleures pratiques et des analyses approfondies pour cultiver les idées et galvaniser les actions en vue d'une meilleure gestion dans le secteur de l'eau et au-delà.

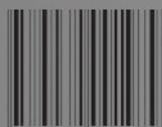
L'édition 2020 du WWDR, intitulée « L'eau et les changements climatiques », montre les liens essentiels entre l'eau et les changements climatiques dans le cadre plus vaste du programme de développement durable. Illustré par des exemples provenant du monde entier, le rapport présente les défis et possibilités provenant des changements climatiques, et offre des réponses potentielles (adaptation, atténuation, résilience renforcée) pouvant être adoptées en améliorant la gestion des ressources en eau, en atténuant les risques liés à l'eau, et en améliorant l'accès aux services d'approvisionnement en eau et d'assainissement, pour tous et de manière durable. Il aborde les liens entre l'eau, les personnes, l'environnement et l'économie dans un climat en évolution, et présente la manière dont les changements climatiques peuvent être le moteur positif d'une meilleure gestion de l'eau, d'une gouvernance renforcée et de meilleurs financements pour bâtir un monde durable et prospère pour tous.

Le Rapport apporte une contribution basée sur des faits, axée sur l'eau, et à la base de connaissances sur les changements climatiques. Il complète les évaluations scientifiques existantes ; il est conçu pour appuyer les cadres politiques internationaux, dans le but d'aider la communauté de l'eau à relever les défis des changements climatiques, et d'éclairer la communauté des changements climatiques au sujet des possibilités qu'offre une meilleure gestion de l'eau pour l'adaptation et l'atténuation.

Nous sommes reconnaissants du soutien financier du Gouvernement italien et de la Regione Umbria.



Regione Umbria



9 789232 001979