

Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau résilients au climat :

Gestion des risques de santé liés à la variabilité et au changement climatiques



Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau résilients au climat :

**Gestion des risques de santé liés
à la variabilité et au changement
climatiques**

Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau résilients au climat: Gestion des risques de santé liés à la variabilité et aux changements climatiques

eISBN 978-17-8-906196-3

© **Organisation Mondiale de la Santé 2017**

Quelques droits réservés. Ce travail est disponible sous l'Attribution Créative Commune -Non Commerciale-ShareAlike 3.0 IGO licence (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>).

Conformément aux termes de cette License, vous pouvez copier, redistribuer et adapter le travail pour des buts non-commerciaux, pourvu que le travail soit effectué de manière appropriée tel qu'indiqué ci-dessous. Dans chaque utilisation de ce travail, aucune suggestion ne devrait être faite indiquant que l'OMS donne son aval à toute organisation spécifique, tout produit ou service. Il est interdit d'utiliser le logo de l'OMS. Si vous adaptez le travail, vous devriez alors le produire avec autorisation sous la même licence Créative Commune. Si vous faites une traduction de ce document, vous devriez mentionner l'avertissement suivant y compris cet énoncé suggéré : « Cette traduction n'a pas été faite par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'OMS n'est pas responsable du contenu ni de la fidélité de cette traduction. L'édition anglaise originale doit être considérée comme l'édition officielle authentique ».

Toute médiation ayant trait à un conflit lié à l'interprétation des termes de la licence doit être menée conformément aux règles de médiation de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle.

Citation suggérée. Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau résilients au climat: gestion des risques de santé liés à la variabilité et aux changements climatiques. IWA Publishing. Édition française 2020.10.2166/ 9781789061963

Catalogue-dans -Publication données (CIP). Les données CIP sont disponibles sur <http://apps.who.int/iris>.

Ventes, droits et autorisation. Pour acheter les publications de l'OMS, voir le lien <http://apps.who.int/bookorders>. Pour soumettre des demandes pour utilisation commerciale et pour s'informer sur les droits et l'obtention de la licence, contacter le site <http://www.who.int/about/licensing>.

Matériels de tierce personne. Si vous désirez réutiliser le matériel de ce document attribué à une tierce personne telle que les tableaux, les diagrammes ou images, il est de votre responsabilité de chercher à savoir s'il est indispensable d'avoir la permission du détenteur du droit d'auteur. En cas de plaintes résultant du non-respect de toute règle liée à ce travail par une tierce personne l'utilisateur sera le seul à encourir ce risque.

Avertissements généraux. Les désignations employées et la présentation du matériel dans cette publication n'impliquent en aucun cas l'expression d'aucune opinion de l'OMS en ce qui concerne le statut juridique de tout pays, territoire, ville ou région ou ses autorités, ou la délimitation de ses frontières. Les lignes en pointillés sur les cartes représentent les tracés de frontières approximatives sur lesquels il n'y a pas eu encore d'accord total conclu.

La mention de certaines sociétés spécifiques ou de certains produits de fabricants n'indique pas que ces sociétés ou ces produits sont approuvés ou recommandés par l'OMS par préférence à d'autres produits de nature similaire qui ne sont pas mentionnés. À part les erreurs et omissions, les noms des produits de marque déposée sont inscrits en lettres majuscules.

L'OMS a pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations contenues dans cette publication. Cependant, le matériel publié est distribué sans aucune garantie de quelle que nature que ce soit express ou implicite. Le lecteur est responsable de l'interprétation et de l'utilisation du matériel. En aucun cas, l'OMS ne sera responsable des dégâts causés par l'utilisation du matériel.

Photos de couverture, dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du haut: ©

flickr/Joshua et Deliverance Bougie, © Gregory Schutz, © UN Photo/Tim McKulka

Édition et confection par Inis Communication -www.iniscommunication.com

Imprimé à Genève.

Ce manuel a été traduit par l'Association internationale de l'eau. La citation du document original est la suivante:

Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Remerciements à Brenda Ampomah, Katharine Cross et Kizito Masinde (IWA) pour avoir supervisé la traduction et la publication de ce manuel.

Remerciements

Ce guide est le résultat de la collaboration entre l'Equipe des Changements Climatiques et de la Santé et l'Unité de l'Eau, de l'Assainissement, de l'Hygiène et de la Santé, les deux structures faisant partie du Département de la Santé Publique, Environnementale et Sociale au sein de l'OMS.

L'OMS reconnaît avec gratitude le soutien financier et technique fourni par l'Unité Internationale du Climat du Royaume Uni, le Département du Développement International, le Département Australien des Affaires Etrangères et du Commerce, le Ministère de l'Environnement et des Ressources en Eau du Singapour, et le Ministère de la Santé, du Travail et du Bien-être Social du Japon.

Rédacteurs: Elena Villalobos Prats, Angella Rinehold, Jennifer De France et Diarmid Campbell-Lendrum.

Auteur principal: Dan Deere.

Liste des auteurs et des critiques: Plus de 20 experts et praticiens ont contribué à la production de ce document à travers leur participation aux ateliers de travail et aux séances d'études et de discussions y afférentes. Ces personnes sont les suivantes: Jamie Bartram (qui a travaillé à l'OMS et présentement à l'Université de la Caroline du Nord), Karla Billington (Logique Naturelle), Robert Bos (un ancien fonctionnaire de l'OMS), Katrina Charles (Université d'Oxford), Chee Keong Chew (un ancien fonctionnaire de l'OMS aujourd'hui à PUB Singapour), Vanya Delgermaa (OMS), John Dennis (Consultation en Santé Environnementale NZ), Kristie Ebi (Université de Washington), Bruce Gordon (OMS), Michael Hammond (Consultant indépendant), Guy Howard (DFID), Alex von Hildebrand (OMS), Asoka Jayaratne (Yarra Valley Water), Ahammadul Kabir (OMS), Nam Raj Khatri (Thecho-9, Lalitpur, Nepal), Waltaji Kutane (OMS), Kah Cheong Lai (ancien fonctionnaire de l'OMS, présentement PUB Singapour), Bonifacio Magtibay (OMS), Shamsul Gafur Mahmud (OMS), Rory Moses McKeown (OMS), Rachael Miller (Compagnie d'EauWa), Maria Neira (OMS), Tuan Nghia Ton (OMS), Payden (OMS), Sophary Phan (OMS), Raja Ram Pote Shrestha (OMS), Masaki Sagehashi (Institut National de Santé Publique, Japon), Paul Samuels (RH Wallingford), David Sutherland (OMS), Nigel Walmsley (RH Wallingford), George Woolhouse (RH Wallingford), Osman Yiha (OMS) et Gertjan Zwolsman (Institut de Recherche en Cycles de l'Eau KWR).

Table des matières

Abréviations	vi
Résumé exécutif	1
1. Introduction	3
1.1 Justification du document	3
1.2 Portée du document	4
2. Aperçu des impacts du changement climatique sur l’approvisionnement en eau	5
2.1 Messages clés du Cinquième Rapport d’Evaluation du GIEC	5
2.2 Impacts prévus des changements climatiques sur le cycle hydrologique	6
2.3 Impacts du climat sur les ressources en eau	8
2.4 Impacts potentiels sur la santé	11
3. Evaluation régionales de la vulnérabilité climatique pour les PGSSE	14
3.1 Portée et objectif de l’évaluation	15
3.2 Intrants et composantes de l’évaluation	15
3.3 Des résultats pertinents	16
3.4 Sources des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique	17
3.5 Etudes de cas	17
4. Résilience et adaptation	19
4.1 RRC dans le contexte de la planification de la sécurité en eau	20
4.2 GIRE dans le contexte de la planification de la sécurité des approvisionnements en eau	21
5. Intégration du changement climatique dans le processus PGSSE	24
5.1 Module 1 – Rassembler l’équipe du PGSSE	25
5.2 Module 2 – Décrire le système d’approvisionnement en eau	26
5.3 Modules 3 et 4 – Identifier les dangers et évaluer les risques	28
5.4 Module 5 – Plan d’améliorations	32
5.5 Exemples d’impacts du changement climatique susceptibles d’influencer les dangers et les événements dangereux et les mesures de maîtrise des risques associées	34
5.6 Modules 8 et 9 - Procédures de gestion et programmes de soutien	44
6. Informations complémentaires et conseils	47
6.1 Introduction	47
6.2 Ressources supplémentaires sur les changements climatiques et les approvisionnements en eau	47
Références	53

Annexes

Annexe 1. Etude de cas des Pays-Bas: Impacts des changements climatiques potentiels sur la fonction d'eau potable des fleuves du Rhin et de la Meuse _____	55
Annexe 2. Etude de cas de l'Australie: plans de sécurité de l'eau pour la Gestion des risques d'une source d'eau supplémentaire à l'Ouest de l'Australie _____	65
Annexe 3. Etude de cas du Népal: plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau pour la gestion des risques dans le Népal _____	72
Annexe 4. Etude de cas de la République Unie de la Tanzanie : Comment les PGSSE peuvent-ils aider à s'adapter à un climat incertain ? _____	75
Annexe 5. Etude de cas de l'Ethiopie: faire face au changement climatique dans les systèmes d'approvisionnement en eau en Ethiopie _____	77
Annexe 6. Etude de cas du Bangladesh: Impacts de la salinité sur les sources d'eau potable _____	81

Abréviations

CMIP	Projet d'Intercomparaison de Modèle Couplé
CO₂	Dioxyde de carbone
CORDEX	Expérience Régionale Décroissante et Coordonnée
DFID	Département du Développement International (Royaume Uni)
RRC	Réduction des Risques de Catastrophes
EPA	Agence de Protection Environnementale, Etats-Unis d'Amérique
HACCP	Analyse des risques et point de contrôle critique
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IWA	Association Internationale de l'Eau
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
KNMI	Société Météorologique Royale des Pays-Bas
ONG	Organisation Non Gouvernementale
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrique
SWAT	Outil d'Evaluation des Sols et de l'Eau
UF	Ultra filtration
UNEP	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
UNISDR	Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophes
UV	Ultraviolet
WASH	Eau, Assainissement et Hygiène
WCI	Intégrateur du Cycle de l'Eau
WEAP	Evaluation et Planification de l'Eau
WEDC	Centre de Développement d'Ingénierie de l'Eau
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
WISE	Système d'Information sur l'Eau pour l'Europe
WQP	Partenariat de la Qualité de l'Eau de L'Organisation Mondiale de la Santé pour la Santé
PGSSE	Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau

Résumé exécutif

La planification à long terme d'un système d'approvisionnement en eau de boisson de manière adéquate et saine devrait se situer dans un contexte d'incertitudes externes croissantes dues au changement climatique et à l'environnement. Le processus du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE) fournit un cadre systématique de gestion de ces risques en tenant compte des implications de la variabilité et du changement climatiques.

Ce document est destiné à aider les fournisseurs d'eau et les équipes du PGSSE qui sont déjà engagés à utiliser l'approche du PGSSE et sont actuellement en train d'élaborer et de mettre en œuvre des PGSSE afin de mieux comprendre le phénomène du changement climatique et de voir comment ce phénomène peut être pris en compte et traité dans le processus du PGSSE. Ce document sera également utile pour d'autres parties prenantes, particulièrement les agences de santé et environnementales qui soutiennent la mise en œuvre du PGSSE. Il explique comment procéder pour prendre en considération les questions plus larges du changement climatique, aux évaluations régionales de la variabilité climatique, à la réduction des risques des catastrophes et à la gestion intégrée des ressources en eau dans le processus du PGSSE. Les détails sur la manière dont ces activités seront menées pour tout PGSSE particulier dépendront des circonstances locales.

Le document identifie les opportunités pour l'amélioration du processus et des résultats du PGSSE en tenant compte de l'approvisionnement en eau salubre en quantité suffisante dans des conditions futures modifiées et des événements météorologiques extrêmes qui pourraient se manifester de manière plus fréquente et sévère au fur et à mesure que le climat change.

Cette directive s'aligne sur les modules du PGSSE tel que décrit dans le *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* de l'Organisation Mondiale de la Santé/Association Internationale de l'Eau. Ce document est donc destiné à être utilisé conjointement avec le *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* pour s'assurer que le changement climatique est pris en compte dans le cadre de l'évaluation complète et la gestion des risques ainsi que le processus d'amélioration continu.

Le document présente l'état actuel des connaissances en matière d'impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau, puisant des informations dans la littérature scientifique, particulièrement le Cinquième Rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

Le document décrit ces modules du *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* dans lequel la variabilité et le changement climatiques doivent être explicitement pris en compte pour assurer une gestion efficace de ces risques à travers le processus du PGSSE. Ces modules sont : 1 (« Constituer l'équipe du PGSSE »), 2 (« Décrire le système d'approvisionnement en eau »), 3-5 (« Identifier les dangers et les événements dangereux et évaluer les risques », « Déterminer et valider les mesures de maîtrise des risques, réévaluer et hiérarchiser les risques », et « Elaborer, mettre en œuvre et maintenir un plan d'amélioration/mis à jour »), 8 (« Préparer les procédures de gestion ») et 9 (« Elaborer des programmes de soutien »). Les activités principales à entreprendre pour soutenir l'inclusion des risques liés au changement climatique sont décrites ci-dessous.

L'équipe du PGSSE doit tenir compte des événements passés liés au climat qui ont négativement affecté le système d'approvisionnement en eau et s'informer des projections climatiques qui pourraient impacter les dangers et les risques pour le système d'approvisionnement en eau à l'avenir. Tel que décrit dans les modules 1 et 2 (section 5.1 et 5.2 de ce document), les équipes du PGSSE doivent faire appel à l'expertise et aux informations des autres parties prenantes, tels que les spécialistes en hydrologie et en climatologie ; pour comprendre les impacts potentiels du changement climatiques dans le contexte de leur système d'approvisionnement en eau.

En identifiant les dangers ; en évaluant les risques et en planifiant les actions d'amélioration, tel que décrit dans les modules 3-5 (sections 5.3 et 5.4 de ce document), les équipes du PGSSE doivent avoir une vue plus large des risques potentiels. Le changement climatique entretient les changements

dans l'environnement et les systèmes sociaux, ce qui peut impacter la nature des dangers et des expositions pris en compte d'ordinaire et introduire de nouveaux dangers. Il est probable que tous deux la probabilité et la gravité des conséquences dues aux dangers et événements dangereux puissent changer du fait de la variabilité et du changement climatique.

Les modules 8 et 9 (section 5.6 de ce document) du *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* couvrent l'élaboration des procédures de gestion et des programmes de soutien. A un niveau élargi ; ces modules incluent l'élaboration des programmes pour renforcer la capacité institutionnelle et individuelle des fournisseurs d'eau à gérer des risques liés à la pénurie et à la fiabilité de l'eau en plus des risques liés à la qualité de l'eau.

Ces programmes comportent des procédures de gestion ; par exemple des plans d'intervention d'urgence (tels que des plans de gestion des inondations ou des sécheresses).

Les programmes peuvent être utilisés pour rassembler les parties prenantes de diverses disciplines en vue de soutenir une approche holistique et basée plus sur le bassin hydrographique pour une gestion des ressources en eau ; au bénéfice de fournisseurs d'eau plus résilients.

En considérant les changements climatiques et en recherchant des voies pour s'adapter au changement et renforcer la résilience à une forte variabilité climatique, l'équipe du PGSSE peut identifier les opportunités et pratiques pour travailler en partenariat avec d'autres acteurs et influencer leurs plans et programmes là où ceux-ci ont un lien avec la portée et la mise en œuvre du PGSSE.

Des sources d'informations supplémentaires, des études de cas détaillées, des exemples connexes sont fournis dans le document et comme annexes à la fin du manuel.

Introduction

1

1.1 Justification du document

La disponibilité durable de l'eau de boisson salubre sera en danger à moins que les systèmes d'approvisionnement en eau ne soient résilients à la fois aux niveaux actuels de la variabilité climatiques et aux changements futurs. Il est prévu que les changements climatiques modifient la distribution spatiale, le calendrier et l'intensité des phénomènes météorologiques. Avec les projections de graves événements météorologiques extrêmes ; les changements climatiques causeront des pressions sur les ressources en eau douce et la qualité de l'eau, et par conséquent, la sécurité sanitaire et la sûreté de l'eau de boisson. Ces événements ; y compris l'incidence croissante des inondations et de sécheresse causeront des impacts négatifs sur les services d'approvisionnement en eau et poseront un danger au développement et à la santé humaine. La croissance démographique, l'urbanisation et l'expansion des activités industrielles provoqueront également des augmentations de la demande en eau et exacerberont les impacts du changement climatique.

Face à de tels impacts escomptés des changements climatiques, il est indispensable de renforcer la résilience climatique des services d'approvisionnement en eau en vue de faire face aux conditions météorologiques extrêmes ; augmentant les pressions sur les ressources et les problèmes de la qualité et de la quantité d'eau qui s'ensuivent.

Les Plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE) qui constituent une approche proactive et complète d'évaluation et de gestion de risques pour garantir la la sûreté et sécurité sanitaire des approvisionnements en eau de boisson, fournissent en fait un cadre de grande valeur pour la résolution de ces questions. *Les Directives de la qualité de l'eau de boisson* (1) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommandent le plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau, et le *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* (2) de l'Association Internationale de l'Eau (IWA)/OMS note :

Il peut y avoir une tendance à l'identification des dangers qui soit limitée à penser à ces entrées directes dans le système d'approvisionnement en eau ayant un impact sur les paramètres microbiens et chimiques, puisque ceux-ci sont importants en termes de conformité avec les normes de la qualité de l'eau. Cependant, l'approche consistant à garantir de l'eau salubre doit s'élargir considérablement; avec la prise en compte des aspects tels que le potentiel à causer des dommages d'inondations, la suffisance d'eau de source et les réserves alternatives d'eau, la disponibilité et la fiabilité des alimentations électriques, la qualité des produits chimiques et des ouvrages de traitement, les programmes de formation, la disponibilité d'un personnel formé, le nettoyage du réservoir du service, les connaissances en système de distribution, la sécurité, les procédures d'urgence, la fiabilité des systèmes de communication et la disponibilité des infrastructures de laboratoire nécessitant toutes une évaluation des risques.

Les principes et la pratique de la planification de la sécurité sanitaire de l'eau y compris son exigence implicite que les risques liés à la sûreté et la sécurité sanitaire de l'eau de boisson sont identifiés, hiérarchisés et gérés avant que les problèmes ne surviennent, ce qui en fait un point de départ de grande valeur pour gérer les impacts des changements climatiques.

1.2 Portée du document

Ce document met l'accent sur l'application de l'approche du PGSSE telle que décrite dans le *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* (2) de l'OMS/IWA pour identifier et gérer les risques causés par les changements climatiques à la sécurité sanitaire de l'eau (sur le plan qualitatif et quantitatif). Le document est basé sur des travaux précédents y compris le rapport de la *Vision 2030* sur la résilience climatique des différentes technologies de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène (WASH), mettant l'accent ici sur le renforcement et l'adaptation des PGSSE comme une approche de gestion hautement pertinente à adopter pour faire face aux risques climatiques. Il a pour objet d'aider les fournisseurs d'eau qui se sont engagés à utiliser l'approche du PGSSE, ou qui sont déjà en train d'élaborer ou de mettre en œuvre les PGSSE pour leur permettre d'avoir une meilleure compréhension des questions des changements climatiques et de soutenir leur intégration dans le processus des PGSSE.

Le document aidera les professionnels du secteur, particulièrement les fournisseurs d'eau et les équipes du PGSSE à identifier et à incorporer les questions plus larges des changements climatiques, la réduction des risques des catastrophes (RRC) et la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) comme approches contributrice importante au processus du PGSSE.

Ce document décrit aussi comment les fournisseurs d'eau et les équipes des PGSSE peuvent mieux utiliser les informations fournies par d'autres acteurs telles que les évaluations de la vulnérabilité climatique au niveau des zones climatiques et écologiques comme apports à leurs travaux sur les réservoirs individuels d'eau.

Ce document est destiné à être utilisé conjointement avec le *Manuel du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau* de l'OMS/IWA pour s'assurer que le phénomène des changements climatiques est pris en compte dans le cadre de la gestion complète des risques et du processus d'amélioration continue du PGSSE :

Aperçu des impacts du changement climatique sur l'approvisionnement en eau

2

2.1 Messages clés du Cinquième Rapport d'Evaluation du GIEC

Le Cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) (4) fournit une perspective globale sur les impacts des changements climatiques sur l'eau. La plupart des discussions menées sur l'eau dans les documents du GIEC portent sur la sécurité de l'approvisionnement en eau plutôt que sur la sécurité sanitaire de l'eau de boisson. Bien que la sécurité sanitaire de l'eau de boisson constitue le thème central de ce document, quelques aperçus du contexte de la sécurité de l'approvisionnement en eau sont importants compte tenu de la relation entre la sécurité de l'approvisionnement en eau et la qualité de l'eau. Par exemple, la perte des sources d'eau saine et salubre conduit à la nécessité de se procurer l'eau de boisson à partir d'alternatives moins salubre. En outre, la réduction des volumes d'eau peut conduire à de fortes concentrations de contaminants du fait de la dilution réduite.

Un premier point clé accentué dans les documents du GIEC est que les ressources d'eau douce sont limitées. Environ 80% de la population mondiale souffre des menaces liées à la sécurité de l'approvisionnement en eau, tel que mesurées par les indicateurs incluant la disponibilité de l'eau, la demande en eau et la pollution. Les changements climatiques altéreront la disponibilité de l'eau et ainsi constituer une menace pour la sécurité de l'approvisionnement en eau et ; donc la qualité et la sécurité sanitaire de l'eau.

Les changements climatiques augmentent les températures ambiantes, ce qui affecte le cycle hydrologique. Les valeurs moyennes et extrêmes de la plupart des variables météorologiques sont en train de changer et exercent un impact sur la santé. Cela est dû au fait que les températures et les précipitations influencent de nombreuses maladies transmissibles et non transmissibles qui sont liées à la qualité et à la quantité de l'eau. Les maladies causées par les changements climatiques par le biais de l'eau incluent les maladies d'origine alimentaire ; hydrique et les maladies à transmission vectorielle, y compris les conséquences sanitaires de la sous-alimentation en cas de mauvaises récoltes (voir section 2.4 pour plus d'informations sur les impacts sanitaires).

Les acteurs qui sont responsables de la sécurité sanitaire de l'eau de boisson ont besoin de comprendre comment les changements climatiques affectent les ressources en eau et les voies par lesquelles ceci pourrait affecter les systèmes d'approvisionnement en eau de boisson pour façonner les ajustements au niveau des politiques, programmes et infrastructures afin de se préparer pour et faire face aux changements qui vont s'opérer en termes de quantité et de qualité de l'eau douce.

2.2 Impacts prévus des changements climatiques sur le cycle hydrologique

Le Cinquième Rapport d'Évaluation du GIEC prévoit ce qui suit :

- Augmentations de la température de surface, affectant ainsi la capacité de transport de vapeur de l'atmosphère. L'ampleur et la configuration des augmentations de la température moyenne globale de surface varieront selon les hypothèses à propos des émissions des gaz à effet de serre.
- Moins de précipitations tomberont sous forme de neige, ce qui conduira à une diminution de la couverture de neige en termes de d'étendue et de durée. Cependant, dans les régions les plus froides ; il est prévu que les chutes de neige hivernales réduites soient plus importantes que les fontes de neige estivale croissantes.
- Des réductions des volumes de neige et de glace et des augmentations du taux d'évaporation des lacs, des réservoirs et des aquifères dues à la température ambiante plus haute. Ces changements conduisent à la diminution du stockage et de la disponibilité naturelle de l'eau à moins que les précipitations n'augmentent.
- Des changements dans le calendrier des débits fluviaux et éventuellement des situations de sécheresses plus fréquentes ou plus intense, ce qui conduira à un accroissement du besoin en stockage d'eau artificiel.
- Les précipitations moyennes globales augmenteront dans certaines parties chaudes du monde avec des variations considérables à travers des régions (y compris des cas de baisse de précipitations dans certaines zones). Il est prévu une baisse des précipitations dans les latitudes sous-tropicales, particulièrement en Méditerranée, au Mexique, en Amérique Centrale et dans certaines parties de l'Australie, et une augmentation dans d'autres régions notamment dans les hautes latitudes nordiques, en Inde et dans certaines parties de l'Asie.
- Les régions et les saisons humides deviendront plus humides tandis que les régions et les saisons sèches seront plus sèches.
- On notera des changements dans les configurations d'évaporation similaires aux changements dans les précipitations avec des augmentations modérées presque partout ; particulièrement dans les plus hautes latitudes du nord. Il est prévu que les diminutions dépendantes des scénarios de l'humidité des sols soient généralisées, notamment dans les régions de l'Europe Centrale et de l'Europe du Sud, au Sud-Ouest de l'Amérique du Nord, en Amazonie et en Afrique du Sud.

Les changements climatiques ont déjà commencé à affecter le cycle hydrologique. Les exemples de ces effets et leurs causes sont résumés dans le Tableau 1.

En plus des impacts des changements climatiques, l'avenir des systèmes d'eau douce sera déterminé par des changements démographiques, socioéconomiques et technologiques, y compris des changements dans le mode de vie des populations. Ces changements affectent les expositions aux dangers liés aux conditions météorologiques et les besoins pour des ressources en eau.

Il est prévu que les changements d'utilisation des terres affectent fortement les systèmes d'eau douce à travers ; par exemple, l'urbanisation galopante de manière à accroître les dangers d'inondation. D'une importance majeure pour les systèmes d'eau douce ; l'utilisation pour l'agriculture dans le future des terres, notamment la pratique de l'irrigation qui compte pour la plupart de la consommation globale d'eau et affecte sévèrement la disponibilité d'eau douce.

Du fait de l'état des connaissances scientifiques qui est en constante mise à jour, Il est important que les acteurs chargés de la gestion des ressources en eau cherchent et utilisent les informations les plus récentes.

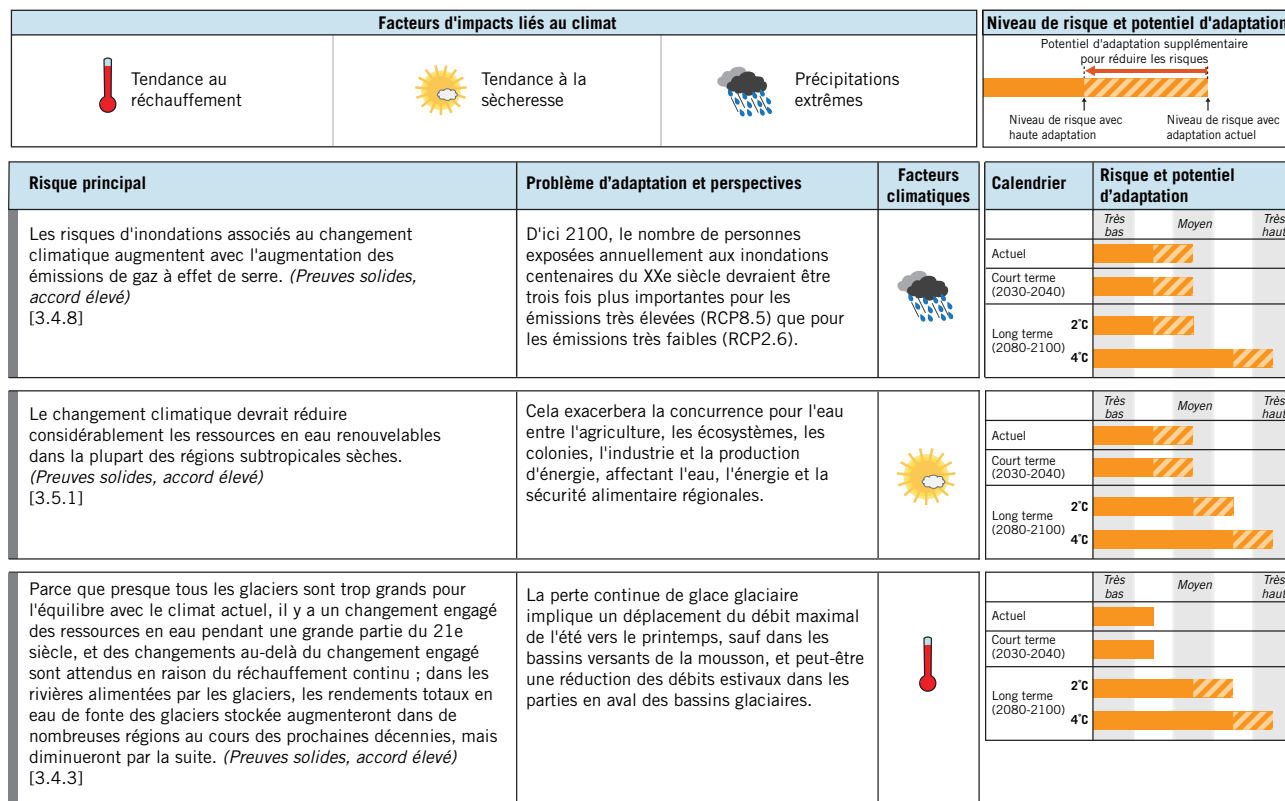
La figure 1 montre un résumé des principaux risques des changements climatiques pour les ressources en eau douce et les possibilités de réduire ces risques à travers des actions d'atténuation et d'adaptation. Les risques sont présentés en trois phases : le présent, le court terme (2030-2040) et le long terme (2080-2100).

Tableau 1. Impacts des changements climatiques observés sur le cycle hydrologique

Changement observé	Attribué à
Ruissellement modifié (global, 1960–1994)	Particulièrement le changement climatique, et à une moindre augmentation du degré de gaz carbonique (CO ₂) et des facteurs non climatiques changent tels que le changement de l'utilisation des terres
Écoulement réduit (Fleuve Jaune, Chine)	Augmentation de la température; seulement 35% de la réduction attribuable aux retraits humains
Débit de pointe annuel antérieur (Arctique russe, 1960–2001)	Augmentation de la température et dégel printanier plus précoce
Débit de pointe annuel antérieur (fleuve Columbia, ouest des États-Unis d'Amérique, 1950–1999)	Réchauffement anthropique
Rendement en eau de fonte des glaciers plus élevé en 1910–1940 qu'en 1980–2000 (Alpes européennes)	Rétrécissement des glaciers forcé par des taux de réchauffement comparables au cours des deux périodes
Diminution du débit de saison sèche (Pérou, Années 50 à 90)	Diminution de l'étendue des glaciers en l'absence d'une tendance claire des précipitations
Disparition du glacier Chacaltaya, Bolivie (2009)	Ascension de l'isotherme de congélation à 50 mètres par décennie, des années 1980 à 2000
Précipitations extrêmes plus intenses (tropiques du nord et latitudes moyennes, 1951–1999)	Changement climatique anthropique
Inondations (Angleterre et Pays de Galles, automne 2000)	Précipitations extrêmes attribuables au changement climatique anthropique
Diminution de la recharge des aquifères karstiques (Espagne, 20 ^{ième} siècle)	Diminution des précipitations et éventuellement augmentation de la température; plusieurs facteurs de confusion
Diminution de la recharge des eaux souterraines (Cachemire, 1985–2005)	Diminution des précipitations hivernales
Augmentation du carbone organique dissous dans les lacs des hautes terres (Royaume-Uni, 1988-2003)	Augmentation de la température et des précipitations; plusieurs facteurs de confusion
Appauvrissement en oxygène dans un réservoir, modéré pendant les épisodes d'oscillation australe El Niño (Espagne, 1964–1991 et 1994–2007)	Diminution du ruissellement en raison de la diminution des précipitations et de l'augmentation de la demande d'évaporation
Pollution fécale variable dans une zone humide d'eau salée (Californie, 1969-2000)	Ruissellement variable des tempêtes; 70% de la variabilité des coliformes attribuable à des précipitations variables
Rinçage des éléments nutritifs des marécages, des réservoirs (Nord Carolina, 1978-2003)	Les ouragans
Augmentation de la teneur en éléments nutritifs du lac (Victoria, Australie, 1984-2000)	Augmentation de la température de l'air et de l'eau

Source: GIEC (4).

Figure 1. Principaux risques liés au changement climatique pour les ressources en eau douce et potentiel de réduction des risques grâce à l'adaptation



Source: GIEC v(4).

2.3 Impacts du climat sur les ressources en eau

Il est difficile de prévoir avec précision l'ampleur et la nature des changements du cycle hydrologique et les impacts associés sur les ressources en eau à des échelles spatiales fines. Il y aura une grande variabilité des impacts à travers les échelles spatiales et temporelles. Dans l'ensemble, les modèles climatiques prévoient une diminution des ressources en eau renouvelables dans certaines régions et une augmentation dans d'autres, avec une grande incertitude dans de nombreux endroits (4). De manière générale, les ressources en eau devraient diminuer dans de nombreuses régions de latitude moyenne et subtropicales sèches et augmenter aux hautes latitudes et dans de nombreuses régions humides de latitude moyenne. Même là où des augmentations sont prévues, il peut y avoir des pénuries à court terme en raison d'un débit plus variable des cours d'eau (à cause d'une plus grande variabilité des précipitations) et des réductions saisonnières de réserves d'eau en raison d'un stockage réduit de la neige et de la glace.

Les changements climatiques affectent la qualité de l'eau par le biais d'un ensemble complexe de mécanismes naturels et anthropiques qui fonctionnent simultanément en parallèle et en série (4). Les projections dans le cadre des scénarios de changement climatique sont difficiles à réaliser et à interpréter car elles nécessitent non seulement l'intégration des modèles climatiques avec les modèles utilisés pour analyser le transport et la transformation des polluants dans l'eau, le sol et l'air, mais aussi l'établissement d'une base de référence appropriée. Par conséquent, il existe peu de projections des impacts du changement climatique sur la qualité de l'eau et, lorsqu'elles sont disponibles, leur incertitude est élevée. Il est toutefois évident que les projections relatives à la qualité de l'eau dépendent fortement (a) des conditions locales, (b) des hypothèses climatiques et environnementales et (c) de l'état de pollution actuel ou de référence.

Le cinquième rapport de l'évaluation du GIEC a conclu que les changements climatiques confrontent les fournisseurs d'eau à toute une série de défis, y compris ceux décrits ci-dessous (4). Bien que les défis présentés ci-dessous mettent l'accent sur les impacts directs sur la qualité de l'eau, il est important de garder à l'esprit les impacts indirects sur la qualité de l'eau également, tels que les incendies de forêt fréquents et graves qui dégradent la qualité de l'eau pour les villes qui dépendent de l'eau des bassins hydrographiques forestiers. De nombreuses stations de traitement d'eau potable, en particulier les petites, ne sont pas conçues pour faire face aux variations d'eau à traiter plus extrêmes attendues avec le changement climatique. Celles-ci exigent des infrastructures supplémentaires ou différentes, ce qui rend le traitement de l'eau très coûteux, en particulier dans les zones rurales.

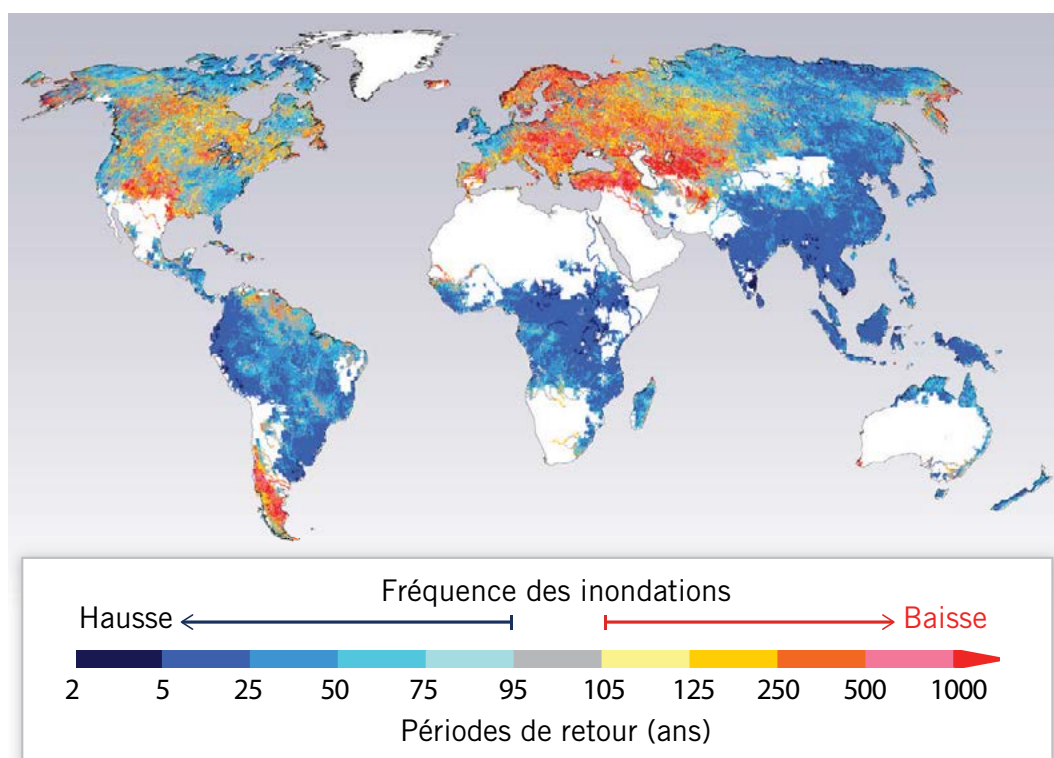
2.3.1 Des précipitations et des inondations plus intenses

Le GIEC prévoit que les changements dans le cycle de l'eau au cours des prochaines décennies montreront des modèles à grande échelle similaires à ceux récemment observés, à savoir des augmentations substantielles de fortes précipitations dans plus de régions que de régions qui expérimenteront des diminutions, mais il y a de fortes variations régionales et sous régionales dans les tendances. En ce qui concerne l'ampleur ou la fréquence des inondations, il manque des preuves en lien avec le signe de la tendance à l'échelle mondiale (5). Les changements à court terme et à l'échelle régionale seront fortement influencés par la variabilité interne naturelle et peuvent être affectés par les émissions anthropiques d'aérosols.

Les précipitations extrêmes sur la plupart des masses terrestres des latitudes moyennes et sur les régions tropicales humides deviendront probablement plus intenses et plus fréquentes d'ici la fin de ce siècle. Du point de vue de la sécurité sanitaire de l'eau de boisson, des précipitations plus intenses sont souvent associées à une baisse de la qualité de l'eau à court terme. Une eau turbide et contaminée peut se produire en raison de l'érosion des sols en amont. Les inondations peuvent également submerger les systèmes de confinement des eaux pluviales et des eaux usées et potentiellement submerger les systèmes de traitement et de distribution de l'eau. En principe, les agents pathogènes, les nutriments et les produits chimiques dangereux peuvent être dilués par des débits plus élevés. Dans la pratique, cependant, la surcharge des systèmes de confinement (mécanismes d'atténuation naturels et artificiels) signifie généralement que des concentrations plus élevées d'agents pathogènes et de produits chimiques dangereux sont présentes dans l'eau pendant les périodes de débit élevé, en particulier lors de la première vidange. Les inondations généralisées peuvent devenir plus intenses et plus fréquentes en raison de pluies plus intenses.

La figure 2 montre des exemples de changements dans les périodes de retour prévues pour les inondations. Il existe une grande variabilité dans les scénarios d'émission qui affectent l'ampleur du changement des périodes de retour. Néanmoins, un nombre potentiellement important de personnes pourrait être exposé, en particulier dans le cadre de scénarios des fortes émissions.

Figure 2. Changements dans la période de retour médiane multimodèle en années dans les années 2080 pour une inondation qui se serait produite en moyenne une fois tous les 100 ans au cours du 20e siècle



Source: GIEC (4).

2.3.2 Augmentation de la sécheresse

On prévoit que les sécheresses s'intensifieront au XXI^e siècle pendant certaines saisons et dans certaines régions en raison de la diminution des précipitations ou de l'augmentation de l'évapotranspiration (6). Cela s'applique à des régions telles que l'Europe du Sud et la région méditerranéenne, l'Europe centrale, le centre de l'Amérique du Nord, l'Amérique centrale et le Mexique, le nord-est du Brésil et l'Afrique australe.

Du point de vue de la sécurité sanitaire de l'eau de boisson, l'augmentation de la sécheresse est souvent associée à une plus mauvaise qualité de l'eau à long terme. Alors que des précipitations plus intenses ont tendance à mobiliser les contaminants dans l'eau, une fois présents dans l'eau, les faibles débits et les niveaux d'eau réduits ont tendance à augmenter la concentration de polluants et de nutriments. Les concentrations de polluants augmentent lorsque les conditions sont plus sèches. Cela est préoccupant pour les sources d'eau souterraine qui sont déjà de mauvaise qualité, comme dans certains endroits en Inde et au Bangladesh, en Amérique du Nord et en Amérique latine, et en Afrique, où les concentrations d'arsenic, de fer, de manganèse et de fluorures posent souvent problème (4). Dans les grands réservoirs d'eau, des températures plus élevées et des débits réduits peuvent réduire les niveaux d'oxygène dissous. Cette eau moins oxygénée peut libérer des nutriments benthiques croissants (par exemple du phosphore), favorisant à son tour une activité phytoplanctonique élevée et la libération de métaux (par exemple du fer et du manganèse) des sédiments lacustres dans la masse d'eau. Dans les régions où l'eau douce est moins abondante, la concurrence pour ces ressources s'intensifiera et les fournisseurs d'eau devront de plus en plus rivaliser avec d'autres utilisateurs pour accéder aux répartitions de l'eau. En outre, la sécheresse entraîne souvent une dépendance accrue à l'égard de sources d'eau alternatives potentiellement moins salubres qui pourraient être évitées autrement.

2.3.3 Augmentation de la température

En matière de sécurité sanitaire de l'eau de boisson, des températures plus élevées peuvent entraîner une augmentation des proliférations de cyanobactéries et, par conséquent, des risques accrus liés aux cyanotoxines et aux matières organiques naturelles présentes dans les sources d'eau. Une eau plus chaude et moins oxygénée peut également entraîner une augmentation des concentrations de certains métaux, de phosphore et de phytoplancton (voir 2.3.2). Ces impacts peuvent nécessiter un traitement supplémentaire de l'eau de boisson.

Au sein des infrastructures de distribution et de stockage, l'augmentation des températures, éventuellement combinée à la réduction des débits due à la restriction de l'utilisation de l'eau, offre des conditions plus favorables à certains agents pathogènes opportunistes mésophiles, par exemple *Naegleria fowleri*. L'augmentation des températures réduit la stabilité du chlore résiduel, ce qui exacerbe les problèmes de contrôle des agents pathogènes opportunistes. Dans le même temps, les sous-produits de désinfection vont augmenter.

2.3.4 Elévation du niveau de la mer

Les eaux souterraines côtières seront affectées non seulement par les changements dans la recharge des eaux souterraines, mais aussi par l'élévation du niveau de la mer. L'élévation du niveau de la mer, combinée avec le taux de pompage des eaux souterraines, détermine l'emplacement de l'interface eau salée-eau douce. Bien que la plupart des aquifères confinés ne devraient pas être affectés par l'élévation du niveau de la mer, les aquifères non confinés pourraient souffrir de l'intrusion d'eau salée (4). Le volume disponible pour le stockage d'eau douce est réduit si la nappe phréatique ne peut pas s'élever librement au fur et à mesure que le niveau de la mer s'élève. Cela se produit lorsque les surfaces terrestres sont basses, par exemple sur de nombreuses îles coralliennes et dans les deltas, mais aussi lorsque les eaux souterraines se déversent dans les cours d'eau.

Du point de vue de la sécurité sanitaire de l'eau potable, toute intrusion d'eau salée dans l'eau potable peut augmenter les coûts de traitement de l'eau pour l'élimination du sel (7).

2.4 Impacts potentiels sur la santé

Comme résumé au point 2.1, les maladies affectées par le changement climatique via l'eau sont principalement d'origine alimentaire, hydrique et vectorielle. Des effets sur la santé peuvent également se produire en raison d'une exposition accrue aux agents pathogènes ou aux produits chimiques présents dans l'eau de boisson et en raison de la sous-alimentation en cas de mauvaises récoltes. Le tableau 2 résume les principales voies de causalité par lesquelles 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 de boisson, et pour lesquelles les PGSSE résilient au climat ont le potentiel de contribuer à la réduction des taux de maladie ¹.

1 Il existe d'autres voies par lesquelles le changement climatique peut affecter la disponibilité de l'eau et donc la santé, notamment les sécheresses qui élèvent les niveaux de poussière en suspension dans l'air et augmentent les risques de méningite à méningocoques en Afrique. Elles sont exclues du tableau, car elles ne sont pas fortement médiatisées par les systèmes d'approvisionnement en eau et ne sont donc pas clairement gérables par les PGSSE

Table 2. Impacts sanitaires des expositions à la variabilité et changements climatiques: voies de causalité

Expositions affectées par le changement climatique	Impacts potentiels sur les ressources en eau	Impacts potentiels sur la santé et autres impacts
Accroissement de la température moyenne	<p>Accélération de la croissance, de la survie, de la persistance, de la transmission et de la virulence des agents pathogènes d'origine hydrique, aggravée par une stabilité réduite des résidus de chlore</p> <p>Formation accrue de sous-produits de désinfection</p>	<p>Risques accrus de maladies d'origine alimentaire et hydrique dus à des agents pathogènes</p> <p>Augmentation possible du risque de cancer en cas d'exposition à long terme à des sous-produits de désinfection</p>
Sècheresse accrue	<p>Une disponibilité réduite de l'eau pour la lessive, la cuisine et l'hygiène, ce qui augmente l'exposition à la contamination d'origine hydrique</p> <p>Augmentation de la concentration de polluants quand les conditions sont plus sèches. Ceci est préoccupant pour les sources d'eaux souterraines qui sont déjà de mauvaise qualité, par exemple dans certains endroits en Inde et au Bangladesh, en Amérique du Nord et en Amérique Latine, et en Afrique où les concentrations d'arsenic, de fer, de manganèse et de fluorure posent souvent problème</p> <p>La réduction des nappes phréatiques et des débits d'eau de surface peut entraîner le tarissement des puits, ce qui augmente les distances à parcourir pour chercher l'eau (potentiellement insalubre), et l'augmentation de la pollution des sources d'eau</p> <p>Une faible pluviométrie peut augmenter les sites de reproduction des vecteurs en ralentissant le débit des rivières</p> <p>Réduction de la sécurité alimentaire</p> <p>Production alimentaire plus faible sous les tropiques ; plus faible accès à la nourriture en raison de la réduction de l'offre et des prix plus élevés</p>	<p>Augmentation de la charge des maladies d'origine alimentaire et hydrique</p> <p>Fluorure : fluorose dentaire et osseuse</p> <p>Arsenic : modification de la peau (changement de pigmentation, (hyperkératose), cancer (peau, vessie, poumon), etc.</p> <p>Fer et manganèse : eau décolorée, goût désagréable</p> <p>Risque accru d'effets sur la santé, lié à la malnutrition résultant de l'interaction entre la production et la consommation alimentaire réduites dans les régions pauvres et des taux plus élevés de maladies infectieuses</p> <p>Effets combinés de la sous-alimentation et des maladies infectieuses; effets chroniques du retard de croissance et du dépérissement chez les enfants</p>

Expositions affectées par le changement climatique	Impacts potentiels sur les ressources en eau	Impacts potentiels sur la santé et autres impacts
Des précipitations plus extrêmes	<p>Manque d'eau pour l'hygiène, dommages causés par les inondations aux infrastructures d'eau et d'assainissement, et contamination des sources d'eau par débordement</p> <p>Des pluies plus abondantes et des écoulements d'orage, entraînant une augmentation de la charge des agents pathogènes et des produits chimiques et des sédiments en suspension dans les eaux de surface</p> <p>Les inondations provoquent des débordements et la contamination à partir des réseaux d'égouts, en particulier là où les infrastructures sont médiocres</p> <p>L'augmentation des précipitations à long terme entraîne une hausse du niveau des eaux souterraines, ce qui peut diminuer l'efficacité des processus de purification naturels</p> <p>L'augmentation des eaux de surface peut étendre les sites de reproduction des vecteurs et l'augmentation des pluies peut favoriser la croissance de la végétation et permettre l'expansion de la population des hôtes vertébrés. Les inondations peuvent également forcer les hôtes vertébrés à entrer en contact plus étroit avec l'homme</p> <p>De très fortes précipitations peuvent réduire les populations d'insectes vecteurs et d'hôtes intermédiaires de maladies infectieuses (par exemple la schistosomiase) en chassant les larves de leur habitat dans l'étang d'eau</p>	<p>Risques accrus de maladies d'origine alimentaire et hydrique et d'exposition à des produits chimiques potentiellement toxiques</p> <p>Augmentation ou diminution du risque de maladies à transmission vectorielle, en fonction de l'écologie locale</p>
Des températures plus élevées dans l'eau douce (avec une concentration accrue de nutriments, tels que le phosphore, et d'autres facteurs)	<p>Décalage des répartitions géographiques et saisonnière de <i>Vibrio cholerae</i> et <i>Schistosoma</i> spp par exemple</p> <p>Prolifération des cyanobactéries dans les eaux douces</p> <p>Une eau plus chaude et moins oxygénée peut libérer davantage de nutriments benthiques (par exemple, du phosphore), ce qui favorise une activité phytoplanctonique élevée, et libère des métaux (par exemple, du fer et du manganèse) des sédiments lacustres dans la masse d'eau</p>	<p>Augmentation des risques de maladies d'origine alimentaire et hydrique et les maladies hydriques telles que le choléra et la schistosomiase</p> <p>Lésion du foie, promoteur tumoral, neurotoxicité (effets à long terme selon la toxine à laquelle on est exposé)</p>
Elévation du niveau de la mer	<p>Les zones côtières qui connaissent une élévation du niveau de la mer peuvent devenir inhabitables et influencer le déplacement des populations ou forcer les sources d'eau actuellement sécurisées à ne plus être utilisées en raison de l'intrusion saline.</p> <p>L'élévation du niveau de la mer qui augmente la salinité des aquifères côtiers, où la recharge des eaux souterraines devrait également diminuer.</p>	<p>Risque accru de maladies d'origine hydrique, impact sanitaire d'une consommation élevée de sel sur les maladies non transmissibles</p>

Remarque: les expositions affectées par le changement climatique sont basées sur le GIEC (4); les risques et impacts potentiels sur la santé sont fondés sur l'OMS (2), Hunter (8) et Bouzid, Hooper et Hunter (9).

Evaluation régionales de la vulnérabilité climatique pour les PGSSE

3

Pourquoi ceci est important

Pour renforcer la résilience climatique à travers le processus des PGSSE, il est important de comprendre les risques actuels et futurs posés par la variabilité et les changements climatiques, qui sont souvent similaires dans une zone climatique ou écologique. Les PGSSE à l'échelle locale pourraient donc bénéficier de l'évaluation de la vulnérabilité des ressources en eau à l'échelle régionale. Cette évaluation régionale de la vulnérabilité climatique fournira d'importantes données dans le processus des PGSSE.

La section 2 décrit certains des risques potentiels posés par le climat à une réserve d'eau salubre et adéquat. Pour gérer efficacement les risques climatiques à travers le processus des PGSSE, les équipes des PGSSE doivent comprendre lesquels des risques potentiels décrits sont pertinents pour leurs propres systèmes. Par exemple, une équipe PGSSE doit comprendre le potentiel d'augmentation des températures dans leur région afin d'évaluer et de gérer un risque accru de prolifération de cyanobactéries. Ce type d'information peut être dérivé d'une évaluation de la vulnérabilité climatique, qui implique une évaluation des données historiques et est idéalement basée sur une analyse des scénarios futurs. Comme les changements climatiques sont susceptibles d'être similaires dans une région qui partage certaines caractéristiques (c'est-à-dire une zone climatique ou écologique), il est recommandé que les évaluations régionales de la vulnérabilité au climat soient effectuées à une échelle allant du niveau du sous-bassin au niveau continental.

Par exemple, l'eau de fonte des glaciers de l'Himalaya contribue de manière significative aux systèmes fluviaux et aux ressources en eau dans une grande partie de l'Asie du Sud. Pour un fournisseur d'eau qui prépare un PGSSE, il est important de comprendre comment cette source d'eau peut être affectée par les changements climatiques à l'échelle régionale. Une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique peut répondre à des questions telles que : La configuration saisonnière des débits fluviaux sera-t-elle affectée? Si la fonte des glaciers augmente, la disponibilité de l'eau augmentera-t-elle à court terme ? Si les glaciers continuent de fondre et de reculer, cela réduira-t-il les ressources en eau à long terme ?

Comprendre comment la variabilité et le changement climatiques affectent déjà et devraient affecter les ressources en eau et l'approvisionnement en eau est une tâche exigeante qui pourrait nécessiter une expertise en climatologie, en hydrologie, en hydrogéologie, en statistiques et en santé environnementale. Les évaluations régionales peuvent être élaborées par des gouvernements régionaux ou nationaux, des organisations internationales, des ONG et des institutions universitaires. Elles peuvent aller d'évaluations très sophistiquées et exhaustives à des approches simplifiées plus rudés.

Cette section décrit ce qui suit :

- La portée et l'objectif d'une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique ;
- les intrants et les composantes d'une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique;
- les résultats pertinents d'une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique;
- là où une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique peut être obtenue;
- outils disponibles pour une évaluation régionale de la vulnérabilité climat.

3.1 Portée et objectif de l'évaluation

La littérature sur la vulnérabilité aux changements climatiques est vaste et de nombreux cadres d'évaluation de la vulnérabilité ont été proposés. Le GIEC adopte une approche qui définit la vulnérabilité aux changements climatiques comme « le degré auquel un système est sensible ou incapable de faire face aux effets négatifs de la variabilité et du changement climatiques » (10). La vulnérabilité est décrite comme une fonction de l'exposition à certains risques climatiques, de la sensibilité du système et de la capacité d'adaptation du système.

Cette section met l'accent sur la composante exposition de la vulnérabilité. L'objectif d'une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique, dans le contexte d'un PGSSE, est de fournir aux équipes de PGSSE et aux autres parties prenantes concernées dans une zone géographique des informations sur les principaux impacts climatiques pour éclairer le processus du PGSSE. Il s'agit généralement d'évaluer la variabilité actuelle et future de facteurs tels que les précipitations, la température et l'évapotranspiration, et comment ils pourraient affecter l'approvisionnement en eau. Un exemple simple est l'ampleur et la probabilité des inondations extrêmes, et comment cela peut changer dans les scénarios climatiques futurs. Des directives sur les évaluations plus approfondies de la vulnérabilité et de l'adaptation, qui intègrent la manière dont les sociétés peuvent réagir ou s'adapter ont élaborées par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (11). L'OMS a produit des directives similaires pour la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité et de l'adaptation, spécialement adaptées au secteur de la santé (12).

Les évaluations de la vulnérabilité climatique peuvent couvrir une gamme d'échelles. À l'échelle mondiale, des évaluations ont été faites de l'effet du changement climatique sur la pénurie d'eau (13) et le risque d'inondation (14). Le cinquième rapport d'évaluation du GIEC sur les impacts des changements climatiques a rendu compte de neuf régions distinctes, y compris chaque continent ainsi que les régions polaires et les petites îles (15). À l'échelle continentale, Eisenreich et al. (16) ont rendu compte de la connaissance des impacts des changements climatiques en Europe pour l'Agence européenne pour l'environnement. L'Évaluation nationale du climat menée en 2014 par le gouvernement des États-Unis a divisé les États-Unis en 10 régions. En général, les évaluations des ressources en eau sont effectuées à l'échelle du bassin hydrographique, par exemple pour le Rhin (17), jusqu'à une échelle beaucoup plus petite du bassin ou du sous-bassin. Enfin, il est possible d'évaluer la vulnérabilité au changement climatique sur les régions qui présentent des caractéristiques climatiques ou biophysiques similaires (par exemple Padgham et al. (18), en étudiant les régions semi-arides d'Afrique de l'Ouest).

Des conseils sur la façon d'intégrer les résultats d'une évaluation de la vulnérabilité climatique dans un PGSSE sont décrits dans la section 5.

3.2 Intrants et composantes de l'évaluation

La complexité des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique peut varier considérablement. Dans sa forme la plus simple, une évaluation régionale de la vulnérabilité au climat peut être fondée sur la collecte et l'examen d'informations historiques sur des événements tels que les inondations et les sécheresses. Les documents peuvent être trouvés dans des sources telles que les journaux et les documents officiels. Les données historiques sur les paramètres liés au climat et à l'hydrologie tels que les précipitations, la température, le niveau de la mer et les débits des rivières peuvent être utilisées pour évaluer leur variabilité, y compris la probabilité et l'ampleur des extrêmes, et pour identifier toutes tendances.

Bien qu'un examen des données historiques soit utile, il existe des limites et, pour évaluer les risques futurs dans un climat en évolution, la modélisation du climat et d'autres processus peut être nécessaire. Cela peut entraîner une chaîne de modèles. Au plus haut niveau, les modèles de circulation générale représentent l'interaction entre l'atmosphère, les océans, les calottes glaciaires (cryosphères) et la terre sur la planète pour produire des estimations des variables climatiques telles que la température et les précipitations, et comment elles sont affectées par les différentes

concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre. Ces modèles globaux fonctionnent à une résolution pouvant aller de 100 à 500 km. Les modèles nécessitent des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre qui sont généralement dérivés du GIEC, basés sur des hypothèses sur des facteurs tels que la croissance démographique et économique, l'utilisation des technologies à moindre intensité de carbone et la structure de l'économie globale.

De nombreux modèles de circulation générale ont été développés par différents groupes scientifiques à travers le monde, et leurs résultats peuvent être obtenus à partir du Projet d'Intercomparaison des Modèles Couplés (CMIP) du Programme Mondial pour le Climat. Pour rendre les résultats de ces modèles utiles pour l'analyse régionale, ils doivent être affinés à une échelle beaucoup plus petite (ou « à échelle réduite ») à l'aide de diverses techniques, telles que les modèles climatiques régionaux.

Les résultats de ces modèles peuvent ensuite être utilisés dans des modèles hydrologiques ou de ressources en eau à l'échelle régionale. Ces modèles varient dans leur complexité et leur échelle, allant de ceux qui « regroupent » ou agrègent les caractéristiques d'un bassin hydrographique en une seule unité, à ceux qui divisent le bassin hydrographique en bassins hydrologiques ou même en grilles de résolution plus fine qui représentent la manière dont les variables telles que la couverture terrestre et le type de sol varient sur tout le bassin hydrographique. Ces modèles utilisent des données d'entrée qui peuvent être classées comme biophysiques (sols, topographie et végétation), hydrométéorologiques (précipitations, température), socioéconomiques (population, couverture terrestre) et utilisation de l'eau (demande en eau par personne). Des données sur les infrastructures telles que les réservoirs et leurs règles d'exploitation peuvent être nécessaires. Compte tenu de l'effet significatif de la couverture terrestre sur les principaux processus hydrologiques, des scénarios de changement d'utilisation des terres basés sur des tendances telles que l'urbanisation peuvent également être nécessaires. Bien qu'il existe une multitude d'outils de modélisation, deux sont brièvement décrits à la section 6.1.1.

Outre les modèles de systèmes hydrologiques ou de ressources en eau, d'autres modèles peuvent être utilisés, tels que :

- des modèles hydrauliques qui peuvent être utilisés pour estimer l'étendue des crues des rivières;
- des modèles océanographiques pour estimer l'élévation du niveau de la mer, qui peut affecter le risque d'inondation côtière et d'intrusion d'eau salée;
- des modèles d'eau souterraine qui peuvent être utilisés pour modéliser le comportement des aquifères et leur recharge.

Compte tenu de la complexité de la chaîne de modélisation et de l'évaluation des données historiques, une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique pourrait nécessiter l'expertise de modélisateurs du climat, d'analystes de données, d'hydrologues et d'ingénieurs, ainsi que d'économistes et de spécialistes des sciences sociales.

3.3 Des résultats pertinents

Une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique pourrait produire les informations suivantes qui sont utiles pour le PGSSE.

- Une compréhension détaillée des risques climatiques, tels que les inondations, l'augmentation du niveau de la mer et l'intrusion d'eau salée, qui pourraient avoir un impact sur l'approvisionnement en eau et la sécurité sanitaire de l'eau.
- Les projections des changements apportés à des paramètres clés, tels que les précipitations, la température et les débits fluviaux, selon les scénarios de changements climatiques. Les valeurs moyennes sont utiles ainsi que des informations sur les extrêmes. Ceux-ci pourraient inclure le nombre de jours chauds ou de précipitations intenses.
- Des informations sur la probabilité et l'ampleur des événements météorologiques extrêmes, tels que les tempêtes, les inondations et les sécheresses, dans les scénarios actuels et futurs.
- Les implications pour les ressources en eau de la région, telles que les menaces pesant sur les sources existantes et la nécessité d'identifier de nouvelles sources d'eau.

Il peut y avoir une incertitude significative dans les résultats des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique en raison des incertitudes associées aux données d'entrée et à la structure du modèle. Une approche relativement courante consiste à appliquer un facteur de sécurité au résultat d'un modèle, tel que le débit de pointe estimé de la rivière, ce qui implique d'augmenter cette valeur d'un montant fixe (par exemple de 20 %). L'Agence Britannique pour l'environnement, par exemple, recommande d'utiliser des valeurs moyennes, élevées et supérieures pour les augmentations du débit fluvial de pointe dans 11 régions (19). Des valeurs limites supérieures pourraient être appliquées dans le cas des infrastructures essentielles, comme les usines d'approvisionnement et de traitement en eau.

3.4 Sources des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique

Il existe diverses sources d'évaluations régionales de la vulnérabilité climatique.

- Les organisations internationales : dans son cinquième rapport d'évaluation, le GIEC a rendu compte des effets potentiels des changements climatiques sur les paramètres clés de neuf régions (y compris les régions continentales, polaires et petites îles). D'autres organisations détenant des informations sur la vulnérabilité climatique régionale comprennent le Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP) et l'Organisation Mondiale de la Météorologie (voir la section 6.2 – CMIP et CORDEX). En Europe, de nombreuses données et de nombreuses informations sur l'eau et le climat sont accessibles via le Système d'informations sur les ressources en eau pour l'Europe.
- Les gouvernements nationaux et régionaux : Un exemple est celui de la United States National Climate Assessment (l'Évaluation nationale du climat des États-Unis) (20). Les services météorologiques nationaux et les ministères de l'eau détiennent souvent des informations sur la variabilité et la vulnérabilité aux changements climatiques.
- Les instituts universitaires : Il existe beaucoup d'informations dans la littérature scientifique sur la vulnérabilité aux changements climatiques, grâce à des projets de recherche. Cependant ces informations peuvent être très techniques et l'accès à la littérature peut être limité en raison du coût des abonnements aux revues.
- Les ONG travaillant à l'échelle nationale ou internationale peuvent avoir accès à des études et à des données. Une étude de cas sur le Mékong inférieur est citée à la section 3.5.2.

Il existe plusieurs outils en ligne qui fournissent des informations et des données sur les risques climatiques (voir la section 6.2.1 pour quelques brefs exemples), et des projets sont en cours pour développer d'autres outils.

Un défi important lié à l'utilisation des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique est qu'elle met l'accent sur les aspects individuels qui peuvent affecter le système d'approvisionnement en eau, tels que les changements dans les précipitations, les inondations ou les eaux souterraines, mais n'adoptent pas une vision globale. Par conséquent, l'équipe du PGSSE pourrait utiliser et examiner plusieurs sources d'information.

3.5 Etudes de cas

Les annexes du présent document présentent cinq études de cas sur l'importance de l'intégration des risques climatiques dans les PGSSE. Deux brèves études de cas sur les évaluations régionales de la vulnérabilité climatique et sur la façon dont elles peuvent éclairer un PGSSE sont présentées ci-dessous.

3.5.1 East Bay, Californie, Etats Unis

L'Agence de la Protection Environnemental (EPA) des États-Unis a rendu compte d'une évaluation faite par le district municipal des services publics d'East Bay de la vulnérabilité aux changements climatiques (21). Deux évaluations distinctes de la vulnérabilité climatique à l'échelle de l'État ont été examinées ; une par le Public Interest Energy Research de la California Energy Commission et le California Climate Change Center, et une par le California Department of Water Resources. Ces deux études ont tiré plusieurs conclusions pertinentes - par exemple, la neige fondra plus tôt dans la saison. Les changements dans les précipitations annuelles totales et les impacts sur les sécheresses n'ont pas été concluants, mais certains scénarios prévoyaient une augmentation de la fréquence et de la durée des sécheresses. Il a été signalé que la variabilité climatique augmenterait généralement. Toutes ces informations pourraient être utilisées directement par l'Est Bay Municipal Utility District pour élaborer des plans de lutte contre les impacts des inondations, de l'élévation du niveau de la mer, des augmentations de température et des sécheresses dues à la réduction des précipitations sur l'approvisionnement en eau, la demande et la qualité dans le cadre de son Programme de Gestion de l'Approvisionnement en eau.

3.5.2 Bas-Mékong, Thaïlande et la République Démocratique Populaire de Lao

Une étude a été entreprise par l'ONG START International pour évaluer les impacts des changements climatiques sur la vallée du bas Mékong, en se concentrant sur les affluents en Thaïlande et en République Démocratique Populaire de Lao (22). L'étude a utilisé des scénarios climatiques et un modèle climatique mis au point par l'Organisation de Recherche Scientifique et Industrielle du Commonwealth en Australie, associés à plusieurs modèles hydrologiques de chaque sous-bassin. L'étude a montré que le nombre de jours chauds (définis comme supérieur à 33 °C) pouvait augmenter de deux à trois semaines par an. L'étude a également projeté d'éventuelles augmentations des précipitations de 10% à 30%, particulièrement dans les régions orientales et basses de la République Démocratique Populaire de Lao. L'étude a également montré que la plupart des sous-bassins auraient des débits fluviaux plus élevés, bien que les années sèches puissent être plus faibles. Ces informations ont des répercussions sur la disponibilité de l'eau, la probabilité d'inondation et la demande en eau.

Résilience et adaptation

4

La résilience et l'adaptation sont des thèmes communs tout au long de ce document. La case 1 montre les définitions du GIEC pour ces deux concepts.

Case 1. Définitions du GIEC de la résilience et de l'adaptation

La Résilience : “La capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement dangereux, une tendance ou une perturbation, à réagir ou à se réorganiser de manière à maintenir leur fonction, leur identité et leur structure essentielles, tout en maintenant la capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.”

L'adaptation : “La démarche d'ajustement au climat actuel ou prévu, ainsi qu'à ses conséquences. Pour les systèmes humains, il s'agit d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables ou à exploiter les effets bénéfiques. Pour les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences.”

Source: Glossaire du GIEC (23).

Bien que les deux termes soient parfois utilisés de façon interchangeable, ils sont différents. En ce qui concerne les systèmes sanitaires, l'OMS considère que « la résilience se rapporte à la capacité du système lui-même à faire face et à gérer les risques sanitaires de manière à maintenir les fonctions essentielles, l'identité et la structure des systèmes de santé. Alors que l'adaptation sanitaire cherche à atténuer les dommages ou à exploiter les opportunités bénéfiques, la préservation d'un certain niveau de qualité et de performance durable du système lui-même n'est pas assurée » (24). L'intégration d'une approche résiliente aux changements climatiques des systèmes sanitaires et des ressources en eau contribue à garantir la performance du système et donc à la durabilité et à la maximisation du rapport qualité-prix des investissements dans la santé et l'eau. Cependant, lorsque l'ampleur des changements ou des chocs induits par le climat est significative, le maintien de la résilience du système n'est pas toujours possible et le système peut s'effondrer ou échouer. Dans le cadre de ces orientations, des mesures d'adaptation (ou de contrôle) qui renforcent la résilience du système de l'eau lui-même sont promues.

L'amélioration de l'adaptation et la résilience des systèmes d'approvisionnement en eau aux risques liés aux changements climatiques nécessite la planification à long terme de l'accès continu aux sources d'eau douce, gérer la demande en eau parmi les besoins concurrents, examiner la résilience du système d'approvisionnement lui-même, répondre aux besoins de politiques, tels que le stockage de l'eau et la lutte contre les inondations; la mise en œuvre de mesures de maîtrise des risques pour garantir la qualité (et la quantité) de l'eau; et l'amélioration de l'exploitation et de la maintenance pour garantir l'efficacité continue des mesures de maîtrise des risques. Le processus du PGSSE fournit un cadre efficace pour répondre systématiquement à bon nombre de ces exigences afin d'améliorer l'adaptation et la résilience.

À mesure que les risques climatiques pour les systèmes d'approvisionnement en eau se manifestent à la fois par une fréquence accrue d'événements extrêmes et par des pressions à long terme sur la disponibilité et la qualité des ressources en eau, deux approches complémentaires sont pertinentes et devraient être prises en considération dans le cadre du processus du PGSSE. La réduction des risques de catastrophes (RRC) est axée sur l'atténuation des événements exceptionnels, principalement le renforcement de la résilience, et la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) fournit un cadre d'adaptation aux changements à long terme associé aux changements climatique.

4.1 RRC dans le contexte de la planification de la sécurité en eau

Le Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR)² définit une catastrophe comme « une perturbation grave du fonctionnement d'une communauté ou d'une société entraînant des pertes et des impacts humains, matériels, économiques ou environnementales généralisées, qui dépassent la capacité de la communauté ou de la société à faire face en utilisant ses propres ressources ».

Le risque de catastrophe regroupe la probabilité de survenance de catastrophes avec leurs conséquences à travers « les pertes en vies humaines, en état de santé, en moyens de subsistance, en actifs et en services, qui pourraient survenir à une communauté ou à une société particulière au cours d'une période future déterminée ». Les catastrophes perturbent le fonctionnement normal d'un système et sont généralement causées par une influence extérieure. Pour les systèmes d'approvisionnement en eau, une catastrophe pourrait perturber les infrastructures elles-mêmes (par exemple l'intégrité du système de distribution), le fonctionnement du système ou la sécurité de la source d'eau. Les inondations et les sécheresses sont les événements naturels dangereux les plus étroitement liés au changement climatique qui peuvent affecter les systèmes d'approvisionnement en eau.

Le concept connexe de RRC est la « pratique de réduction des risques de catastrophe à travers des efforts systématiques pour analyser et gérer les facteurs causaux des catastrophes, notamment par une exposition réduite aux dangers, une vulnérabilité atténuée des personnes et des biens, une gestion judicieuse des terres et de l'environnement et une meilleure préparation aux événements indésirables ». La case 2 décrit les cadres de la RRC.

Une stratégie nationale de la RRC couvrirait toute une gamme d'événements météorologiques extrêmes potentiels et les dangers associés qui menacent une région. Cette stratégie devrait tenir compte de la continuité des approvisionnements en eau salubre, en raison de leur nature et de leur fonction, les systèmes publics d'approvisionnement en eau peuvent être désignés comme des infrastructures nationales essentielles. Les événements météorologiques extrêmes peuvent avoir un impact direct sur les composantes du système d'approvisionnement en eau (par exemple la fracturation des canalisations, la charge exceptionnelle de polluants et d'agents pathogènes, ou la défaillance potentielle des réservoirs). Ils peuvent également entraîner une défaillance des infrastructures externes qui ont un impact indirect sur la salubrité de l'eau et la sécurité de l'approvisionnement en eau, comme une perte d'électricité ou la perturbation des transports. En tenant compte des types pertinents de catastrophes et de leurs conséquences potentielles par le biais du processus PGSSE, le PGSSE peut contribuer à la RRC grâce à une meilleure préparation et à une meilleure planification d'urgence pour faciliter la sécurité sanitaire de l'eau en cas d'urgence et le rétablissement plus rapide des fonctions normales après un événement.

La section 5.6.1 explique les liens entre la RRC et la préparation aux incidents, catastrophes et événements extrêmes qui font partie de chaque PGSSE.

² <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

Case 2. Les cadres des RRC

En 2005, les gouvernements du monde entier se sont engagés à prendre des mesures en matière de RRC et ont adopté le cadre d'action de Hyogo, qui couvre la décennie jusqu'en 2015.

Les cinq principes du cadre d'action de Hyogo sont les suivants :

- faire de la RRC une priorité : veiller à ce que la RRC soit une priorité nationale et locale avec une base institutionnelle solide pour sa mise en œuvre ;
- connaître les risques et agir : identifier, évaluer et surveiller les risques de catastrophe, et renforcer l'alerte précoce ;
- renforcer la compréhension et la sensibilisation : utiliser les connaissances, l'innovation et l'éducation pour construire une culture de sécurité et de résilience à tous les niveaux ;
- réduire les risques : réduire les facteurs de risque sous-jacents ;
- être préparé et prêt à agir : renforcer la préparation aux catastrophes pour une intervention efficace à tous les niveaux.

Un cadre post-2015 pour la RRC a été convenu à Sendai, au Japon, en mars 2015.

Le cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 (25) vise à atteindre « la réduction substantielle des risques de catastrophe et des pertes en vies humaines, en moyens de subsistance et en santé et dans les actifs économiques, physiques, sociaux, culturels et environnementaux des personnes, des entreprises, des communautés et des pays », et comprend les domaines prioritaires suivants :

- comprendre les risques de catastrophe;
- renforcer la gouvernance des risques de catastrophe pour gérer les risques de catastrophe;
- investir dans la réduction des risques de catastrophe pour la résilience;
- améliorer la préparation aux catastrophes pour une intervention efficace et pour
- « mieux reconstruire » dans le cadre du rétablissement, de réhabilitation et de reconstruction.

4.2 GIRE dans le contexte de la planification de la sécurité des approvisionnements en eau

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est définie³ comme « le processus qui favorise le développement et la gestion coordonnées de l'eau, des terres et des ressources connexes afin de maximiser le bien-être économique et social sans compromettre la durabilité des systèmes environnementaux vitaux ». La base de la GIRE est que les ressources en eau sont limitées et que de nombreuses utilisations différentes sont interdépendantes. La politique et la gestion de l'eau doivent refléter la nature fondamentalement interconnectée des ressources hydrologiques, et la GIRE est l'alternative acceptée à l'ancien modèle de gestion de l'eau, secteur par secteur, qui dominait dans le passé. La GIRE aide à protéger l'environnement mondial, favorise la croissance économique et le développement agricole durable, favorise la participation démocratique à la gouvernance et améliore la santé humaine.

Les ressources en eau utilisées pour l'eau de boisson sont soumises à un large éventail de risques de qualité, de fiabilité et de rareté qui échappent au contrôle du secteur de l'eau. Les changements climatiques peuvent exacerber les risques pour l'approvisionnement en eau, renforçant la nécessité

³ <http://www.gwp.org/The-Challenge/What-is-IWRM/>

de la GIRE comme outil pour soutenir la résilience continue de l'approvisionnement en eau dans un climat changeant. Une bonne gestion des ressources en eau sera essentielle pour renforcer la résilience et soutenir l'adaptation aux changements inévitables (26). La case 3 présente les arguments en faveur de l'utilisation des approches de la GIRE pour soutenir des approvisionnements en eau résilients, tel qu'indiqué dans la Vision 2030 de l'OMS (3).

Case 3. GIRE et approvisionnement en eau résilients au climat

L'eau de boisson salubre ne représente que 15 % de la consommation globale d'eau dans le monde et souvent moins dans les pays à faible revenu (27). Au moins 70% de l'eau (beaucoup plus dans certains pays) est utilisé pour l'agriculture. L'augmentation de la température qui entraîne des changements climatiques augmentera l'évapotranspiration et, par conséquent, la demande en eau agricole dans de nombreuses régions. L'eau de boisson salubre et l'eau à usages domestiques doivent également concurrencer l'industrie, l'électricité, les loisirs et l'environnement, chacun d'entre eux pouvant soit consommer plus d'eau, soit imposer des restrictions sur la disponibilité de l'eau à des périodes particulières de l'année.

Compte tenu des multiples demandes en eau dans de nombreux secteurs, l'eau doit être gérée de manière intégrée, avec des approches transparentes pour sa répartition et des compromis nécessaires entre les différentes utilisations. Des systèmes pour partager les bénéfices de l'eau – l'alimentation, l'énergie et les services écosystémiques – sont essentiels pour maximiser la contribution globale de l'eau. Ceci est encore plus important lorsque les eaux sont partagées par deux ou plusieurs pays. L'eau doit également être utilisée de manière efficace pour s'assurer qu'il y a suffisamment d'eau disponible pour répondre aux demandes prioritaires. Dans le paradigme de la GIRE, il est essentiel de protéger l'approvisionnement en eau salubre pour assurer à la fois la qualité et la quantité suffisante d'eau.

Les changements climatiques augmenteront l'urgence d'une meilleure adoption et mise en œuvre de la GIRE afin d'améliorer l'efficacité de l'eau, de renforcer la résilience et de soutenir l'adaptation (26). L'eau salubre et l'assainissement nécessitent des volumes d'eau adéquats à allouer à chaque communauté, afin de satisfaire ses besoins en eau domestique. Le secteur de l'eau et de l'assainissement se distingue ainsi des autres secteurs consommateurs d'eau tels que l'agriculture et l'énergie, où les flux d'eau nécessaires pour produire de la nourriture et de l'électricité à un endroit donné peuvent être remplacés par des importations de biens et de services en provenance d'autres régions ou pays.

Les outils de la GIRE offrent une gamme d'options d'adaptation qui peuvent aider directement ou indirectement à réduire les niveaux de risque pour les systèmes d'approvisionnement en eau. De nombreux outils de la GIRE concernent les dispositions institutionnelles et de gouvernance pour la gestion de l'eau plutôt que les mesures de maîtrise des risques directes. Par exemple, l'élaboration de la réglementation sur la qualité de l'eau et la pollution de l'environnement et leur application contribuera à réduire les risques de contamination des sources d'eau. La mobilisation des parties prenantes, y compris les acteurs du bassin hydrographique et les organismes de réglementation environnementale, est encouragée dans le cadre du processus du PGSSE. Bien que tous les problèmes de gestion des bassins hydrographiques ne puissent pas être pris en considération dans le cadre d'un PGSSE, la protection des ressources en eau salubre exige un effort de collaboratif et stratégique entre un éventail de parties prenantes, y compris le fournisseur d'eau et l'équipe du PGSSE.

Les fournisseurs d'eau devraient être conscients des systèmes de ressources en eau plus large dans lesquels ils opèrent, en regardant au-delà des sources et des processus de captage qui soutiennent l'approvisionnement en eau pour évaluer les risques et explorer les opportunités. Par exemple, on peut réduire la pression sur les sources d'eau rares en utilisant en toute sécurité les eaux usées pour l'irrigation agricole. Dans les systèmes bien gérés, l'utilisation des eaux usées présente des avantages non seulement pour le fournisseur d'eau potable, mais aussi pour les agriculteurs en fournissant une source d'eau d'irrigation fiable, à coût abordable et riche en nutriments.

(Case 4). S'engager avec un éventail de parties prenantes du bassin hydrographique sera essentiel pour identifier les risques et les opportunités en dehors de la sphère d'influence directe du fournisseur d'eau lui-même.

La section 5.6.2 fournit des conseils sur la façon dont les PGSSE peuvent intégrer la GIRE pour accroître la résilience des systèmes d'approvisionnement en eau.

Case 4. Utilisation en toute sécuritaire des eaux usées en agriculture

L'eau destinée à l'irrigation agricole consomme jusqu'à 70 % des ressources en eau douce, ce qui exerce une pression sur la disponibilité de l'eau pour l'approvisionnement en eau potable, en particulier dans les zones où l'eau est rare. Les eaux usées peuvent être utilisées comme solution alternative à des fins d'irrigation afin d'atténuer les risques liés aux changements climatiques pour les fournisseurs d'eau confrontés à une pénurie accrue d'eau.

Les eaux usées sont une source d'eau d'irrigation disponible toute l'année qui contient des nutriments précieux. C'est donc une alternative intéressante pour les agriculteurs, car elle offre un approvisionnement régulier en eau et en éléments nutritifs à un coût abordable et réduit le besoin d'acheter des engrais chimiques.

Cependant, l'utilisation des eaux usées pose des risques pour la santé qui doivent être gérés afin de protéger les travailleurs agricoles et les consommateurs de produits agricoles, et de lutter contre les perceptions négatives du public à l'égard de cette pratique. De plus, les normes et les réglementations nationales concernant l'élimination et l'utilisation du traitement des eaux usées sont souvent fragmentées entre les ministères et nécessitent un effort coordonné entre les organismes responsables pour les modifier.

Les *directrices de l'OMS pour l'utilisation sans danger des eaux usées, des excréments et des eaux grises (28)* fournissent des orientations politiques et réglementaires ainsi qu'un cadre d'évaluation et de gestion des risques en utilisant les mêmes principes d'analyse des dangers et de maîtrise des points critiques (HACCP) que la planification de la sécurité sanitaire de l'eau. Le manuel de l'OMS sur *la planification de la sécurité sanitaire de l'eau (29)* fournit des conseils pratiques sur l'évaluation, la surveillance et les mesures de maîtrise des risques pour l'utilisation des eaux usées qui peuvent être utilisées pour compléter le processus du PGSSE.

Intégration du changement climatique dans le processus PGSSE

5

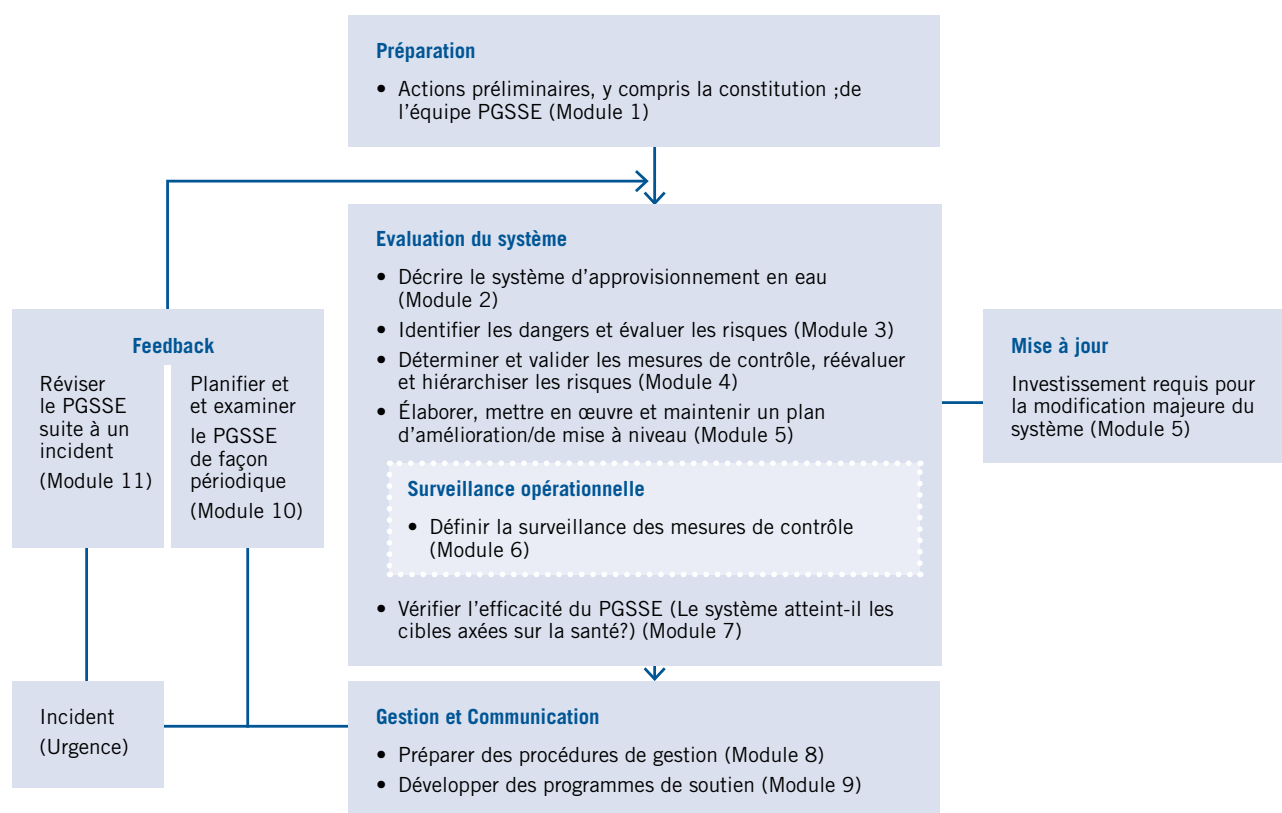
Pourquoi ceci est important

La planification d'un approvisionnement en eau salubre en quantité suffisante à long terme s'inscrit dans le contexte des incertitudes externes croissantes résultant des changements du climat et de l'environnement. Le PGSSE offre un cadre pour gérer ces risques en tenant compte des implications de la variabilité et du changement climatique à différents stades du processus du PGSSE. Cette section présente les considérations clés alignées sur l'approche du PGSSE.

Le manuel sur le plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau de l'OMS/IWA (2) fournit des conseils pratiques pour soutenir l'élaboration et la mise en œuvre du PGSSE pour les approvisionnements en eau gérés par un service d'eaux ou une entité similaire. Le manuel est divisé en 11 modules, comme le montre la figure 3. Cette section identifie des considérations spécifiques pour identifier et gérer les risques posés par le changement climatique dans un certain nombre de modules et devrait être utilisé pour compléter le manuel des plans de sécurité de l'eau pour renforcer la résilience climatique des systèmes d'approvisionnement en eau.

Les modules du manuel du Plan de sécurité de l'eau dont il est question dans le présent document (modules 1 à 5, 8 et 9) sont ceux qui devraient explicitement tenir compte des changements climatiques pour assurer une gestion suffisante des risques liés au climat à travers le processus du PGSSE. Pour les modules non traités dans ce document, il est prévu qu'une prise en compte appropriée des questions liées au climat découlera d'une prise en compte explicite des questions climatiques dans les modules abordés dans ce document, sans qu'aucune directive supplémentaire ne soit nécessaire pour ces modules. Par exemple, les mesures de contrôle supplémentaires nécessaires pour gérer les risques liés au climat sont explicitement abordées dans ce document (partie du module 5). Lorsque les équipes du PGSSE continueront à définir des plans de surveillance des mesures de contrôle dans le module 6, il est prévu que les contrôles liés au climat seront pris en compte avec tous les autres contrôles sans qu'aucune directive supplémentaire ne soit requise.

Figure 3. Présentation du PGSSE



Source: WHO (2).

5.1 Module 1 – Rassembler l'équipe du PGSSE

5.1.1 Recherche d'expertise supplémentaire

Pourquoi ceci est important

L'équipe du PGSSE est normalement composée d'opérateurs de réseaux d'approvisionnement en eau, de gestionnaires et de spécialistes techniques, et souvent de représentants des secteurs de la santé et de l'environnement. Cependant, pour prendre en compte et traiter les effets du changement climatique, les équipes des PGSSE peuvent avoir besoin d'un soutien supplémentaire pour obtenir et interpréter les informations relatives au climat.

Les équipes du PGSSE devraient consulter des experts au besoin pour fournir les preuves et les informations nécessaires pour éclairer la description du système lié au climat, l'identification des dangers, l'évaluation des risques et la planification des améliorations. Ces experts peuvent aider l'équipe du PGSSE à rassembler et à interpréter les informations pour soutenir l'intégration des considérations climatiques dans le processus PGSSE, comme les résultats de toute évaluation régionale de la vulnérabilité climatique entreprise (voir la section 3)

Les personnes dont l'expertise pourrait ajouter de la valeur lors de l'élaboration ou de la révision du PGSSE pour tenir compte des risques associés aux changements climatiques peuvent inclure :

- un climatologue spécialisé dans la planification des impacts et de l'adaptation ;
- un hydrologue ou un hydro-météorologue pour conseiller sur les impacts climatiques possibles pour la région d'intérêt sur les ressources en eau ;
- un spécialiste de la santé publique ou de la qualité de l'eau qui peut donner des conseils sur les effets sur la santé, des changements prévus de la qualité de l'eau liés au climat ;
- un expert en planification d'urgence ou en protection civile pour conseiller sur la RRC ;
- un planificateur de l'eau ayant une expérience opérationnelle dans une région où le climat actuel est ;
- similaire à celui auquel il est probable qu'à l'avenir dans la zone PGSSE ;
- un spécialiste des ressources en eau ayant une expérience dans le développement des ressources en eau ;
- dans tous les secteurs et la planification stratégique de l'approvisionnement en eau ;
- d'autres spécialistes, au besoin, pour aider à l'évaluation des risques pour toute nouvelle source ou tout nouveau dispositif de gestion de l'eau envisagé.

5.2 Module 2 – Décrire le système d'approvisionnement en eau

5.2.1 Décrire les conditions actuelles et futures qui ont un impact sur les événements dangereux liés au climat

Pourquoi ceci est important

Une description détaillée du système d'approvisionnement en eau est essentielle pour soutenir l'identification des dangers et l'évaluation des risques qui sont au cœur d'un PGSSE (voir modules 3 et 4). Pour renforcer la résilience climatique à travers le processus PGSSE, l'équipe du PGSSE doit rassembler suffisamment d'informations pour comprendre et traiter la vulnérabilité aux risques liés au climat.

Lors de la description du système d'approvisionnement en eau, l'équipe du PGSSE doit tenir compte des conditions actuelles et futures (projetées) qui ont le potentiel d'avoir un impact lié au climat sur les ressources en eau ou les infrastructures du système d'approvisionnement en eau. Pour rassembler les informations requises, les équipes du PGSSE devraient s'appuyer sur l'expérience et les connaissances des principaux membres de l'équipe du PGSSE et, si possible, sur l'expertise et les conseils de conseillers supplémentaires comme décrit au 5.1.1.

Voici des exemples d'informations système qui soutiendront l'identification des dangers liés au climat et l'évaluation des risques :

- la fiabilité des rendements à la source (compte tenu de la variabilité saisonnière et de la variabilité entre les années, par exemple en raison de sécheresses) ;
- Données historiques sur la qualité de l'eau la relation avec les rendements à la source ;
- Histoire et tendances des événements météorologiques extrêmes (par exemple, inondations et sécheresses) ;
- les projections climatiques futures qui pourraient avoir un impact sur l'approvisionnement en eau ;
- les implications quantitatives et qualitatives de l'eau des conditions climatiques actuelles et prévues ;
- les nouvelles sources potentielles ou alternatives ;
- les tendances de l'utilisation des terres et de la croissance démographique ayant un impact sur l'offre où ;

- la demande de ressources en eau ;
- les autres capteurs d'eau dans le bassin hydrographique et leurs schémas de prélèvement dans des conditions normales et de sécheresse.

Les équipes du PGSSE et les conseillers experts peuvent obtenir certaines de ces informations en examinant les résultats des études existantes. Par exemple, les évaluations des ressources en eau ou les plans de gestion de bassins existants peuvent fournir des informations précieuses sur la croissance démographique ou le développement urbain qui peuvent augmenter la demande en eau. Les résultats d'une évaluation régionale de la vulnérabilité au climat seront particulièrement utiles aux équipes du PGSSE et devraient être consultés partout où ils sont disponibles, car ces évaluations se concentrent sur les scénarios climatiques actuels et projetés et les impacts associés sur les ressources en eau. La case 5 fournit plus d'informations sur la valeur de l'examen des évaluations régionales de la vulnérabilité climatique au cours de l'étape de description du système du processus du PGSSE.

Case 5. Évaluations régionales de la vulnérabilité climatique pour informer la description du système

Les évaluations régionales de la vulnérabilité climatique peuvent aider les équipes du PGSSE à comprendre quels risques potentiels liés au climat sont pertinents pour leurs propres systèmes d'approvisionnement en eau. Étant donné que les changements climatiques sont susceptibles d'être identiques dans une région – c'est-à-dire une zone climatique ou écologique – les évaluations n'ont pas besoin d'être entreprises au niveau du système d'approvisionnement en eau. Les évaluations peuvent plutôt être entreprises à un niveau plus large, par exemple au niveau du bassin ou du continent, par des experts des gouvernements régionaux ou nationaux, des organisations internationales, des ONG et des institutions universitaires. Les équipes de PGSSE devraient examiner les résultats de ces évaluations pour mieux comprendre les changements climatiques prévus dans leur région et comment les changements pourraient avoir un impact sur leurs systèmes d'approvisionnement en eau et leurs PGSSE.

Les équipes du PGSSE et les conseillers experts devraient se référer à la section 3 pour des informations plus détaillées sur les évaluations régionales de la vulnérabilité climatique, y compris la portée et le but, les entrées et les sorties, et où obtenir les résultats de l'évaluation et les outils de soutien.

5.3 Modules 3 et 4 – Identifier les dangers et évaluer les risques

Pourquoi c'est important

Les modules 3 et 4 sont des composants essentiels du PGSSE et prennent en compte des dangers potentiels et des événements dangereux ainsi que les risques associés. La variabilité et le changement climatique, ainsi que les systèmes environnementaux et sociaux (indépendants ou résultant du changement climatique), entraîneront (a) des risques potentiels nouveaux et (b) l'évolution des risques associés aux dangers et aux événements dangereux.

Le risque associé à un danger ou à un événement dangereux est une combinaison de la probabilité de survenance du danger ou de l'événement dangereux (sur une certaine période) et de la gravité, des conséquences du danger ou de l'événement dangereux si et quand il se produit. La probabilité et la gravité des conséquences découlant du danger ou de l'événement dangereux, ainsi que l'efficacité des mesures de contrôle existantes, sont susceptibles de changer en raison de la variabilité et du changement climatique.

5.3.1 Evaluer les dangers et événements dangereux liés au climat

En gardant à l'esprit le changement climatique, l'équipe du PGSSE devrait considérer les types de dangers qui pourraient devenir plus problématiques dans le contexte local en se référant aux listes de contrôle générales des dangers, des événements dangereux et des mesures de contrôle. Le tableau 2 fournit un ensemble d'exemples de dangers liés à la qualité et à la quantité de l'eau liés au climat et aux événements dangereux et aux mesures de contrôle connexes pour gérer les risques associés. L'équipe du PGSSE doit utiliser son expertise et apporter une expertise plus large si nécessaire pour aider à travailler sur les scénarios de risque lors de l'élaboration ou de la mise à jour de son PGSSE.

Les principaux événements dangereux liés au climat qui affectent les systèmes d'approvisionnement en eau peuvent être regroupés sous quatre grands scénarios :

- Probabilité croissante d'inondations ou de ruissellements accrus dans certaines zones, ce qui risque de submerger les mesures de protection sanitaire actuelles, entraînant des dommages ou la destruction des infrastructures et une contamination croisée. L'augmentation des inondations est susceptible de provenir d'événements pluviométriques plus intenses, d'une augmentation des précipitations moyennes ou d'une combinaison des deux.
- Augmentation des précipitations dans certaines zones, pouvant entraîner une augmentation à long terme des niveaux d'eau souterraine, réduisant le potentiel d'atténuation ou d'élimination des agents pathogènes et des produits chimiques, et provoquant l'inondation des infrastructures souterraines et un écoulement potentiellement rapide des eaux souterraines peu profondes.
- Diminution des précipitations ou périodes plus longues de faibles précipitations dans certaines régions, ce qui pourrait entraîner une baisse de la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables ou des sécheresses plus longues. On s'attend à ce que cela augmente les défis pour répondre à la demande d'eau à usage domestique, ce qui peut conduire les consommateurs à trouver d'autres sources d'eau alternatives (et potentiellement dangereuses). La diminution des précipitations totales dans certaines régions réduira la capacité des eaux de surface à diluer, atténuer et éliminer la pollution et, avec la hausse des températures, modifiera les schémas de croissance microbienne dans les eaux source et traitées. Des températures et une évaporation plus élevée entraîneront potentiellement des concentrations plus élevées de contamination biologique et chimique.

Dangers et événements dangereux liés au climat affectant la disponibilité et la fiabilité de l'eau (quantité)

Le manuel du plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau décrit le processus d'identification des dangers et des événements dangereux et d'évaluation des niveaux de risque associés à chaque événement dangereux. Les PGSSE ont tendance à se concentrer sur les événements dangereux qui ont un impact sur la qualité de l'eau. Dans un contexte plus large des ressources en eau, les événements dangereux liés à la sécheresse, exacerbés par les changements climatiques futurs, peuvent entraîner des risques de rareté et de fiabilité. Les PGSSE doivent prendre en compte les risques stratégiques posés par la rareté de l'eau à la source et les utilisateurs concurrents de l'eau dans un bassin hydrographique.

Dangers et événements dangereux liés au climat affectant les infrastructures d'approvisionnement en eau

Les systèmes d'approvisionnement en eau sont exposés à une gamme d'événements dangereux liés au climat qui peuvent avoir une incidence sur le fonctionnement efficace et l'intégrité structurelle globale des actifs du système d'approvisionnement en eau. Cela peut aller de l'inondation des ouvrages de traitement et des systèmes auxiliaires tels que les alimentations électriques, les dommages aux canalisations dus aux inondations, à l'affouillement et l'érosion dans les rivières et les zones côtières, et l'accumulation de sédiments et de boue causant de l'eau sale et une capacité réduite des réservoirs, des entrées d'eau et autres structures.

Les impacts des changements climatiques sur les infrastructures du système d'approvisionnement en eau doivent être pris en compte, y compris la résistance des technologies, tels que les systèmes de stockage, de traitement et de distribution capables de faire face aux futures implications sur les ressources en eau et aux événements météorologiques extrêmes. Le rapport Vision 2030 (3) comprend un examen de haut niveau de la vulnérabilité des différentes technologies WASH aux risques climatiques qui peuvent être pris comme point de départ pour un examen plus détaillé dans le contexte local.

Les dommages aux infrastructures se produiront souvent dans le cadre d'événements catastrophe plus larges et peuvent entraîner des perturbations généralisées des réseaux d'électricité et de transport qui échappent largement au contrôle du fournisseur d'eau. Dans ces cas, l'évaluation des événements dangereux connexes au-delà du système d'approvisionnement en eau lui-même sera nécessaire afin d'obtenir une image complète des risques auxquels les approvisionnements en eau sont exposés.

Du point de vue de la RRC, il est essentiel de considérer une gamme d'événements dangereux potentiels que la zone pourrait subir. Afin d'explorer les événements dangereux et leurs impacts potentiels sur la sécurité de l'eau, les planificateurs civils d'urgence peuvent aider à développer des scénarios d'événements dangereux crédibles pour l'emplacement spécifique.

Dangers liés au climat et événements dangereux affectant la qualité de l'eau

En général, les types de risques pour la qualité de l'eau qui sont plus susceptibles de se produire avec une gravité croissante dans les réserves d'eau existantes en raison des changements climatiques sont ceux qui sont exacerbés par des conditions plus chaudes et plus sèches ou des précipitations plus intenses. Historiquement, ces types de dangers et d'événements dangereux ont inclus des facteurs tels que :

- Les agents pathogènes, par exemple les oocystes de *Cryptosporidium* spp., ainsi que les particules (y compris la couche arable dans les eaux de ruissellement), sont poussées dans les eaux de source à des concentrations plus élevées en raison de l'augmentation de l'intensité des précipitations, qui peuvent être encore exacerbées après des périodes de sécheresse prolongées ou en cas de forêts endommagées par le feu, avec une dilution réduite en raison de niveaux de stockage inférieurs ;
- le phytoplancton, par exemple les cyanobactéries toxigènes, qui prolifèrent à des niveaux plus élevés dans des conditions plus chaudes, à faible renouvellement et à écoulement plus lent dans des réservoirs d'eau de source découverts ;

- Des agents pathogènes opportunistes, comme le *Naegleria fowleri*, proliférant à des niveaux plus élevés dans une eau plus chaude et plus lente, et qui à son tour aurait des résidus de désinfectant moins stables, dans des systèmes de stockage et de distribution d'eau fermés et les systèmes ;
- Les produits chimiques présents dans de nombreux systèmes d'eaux souterraines (par exemple l'arsenic et le fluorure), ainsi que les produits chimiques présents dans les rejets d'eaux usées, dont la concentration augmente en raison d'une moindre dilution et atteint des niveaux préoccupants.

L'une des conséquences prévues du changement climatique est l'augmentation des périodes de pénurie d'eau dans de nombreuses régions du monde, et de nouveaux approvisionnements en eau sont exploités dans de nombreuses régions. (Dans d'autres contextes, les débits d'eau peuvent être plus élevés, plus variables ou sujets à des événements de précipitations plus intenses.) Les sources d'eau traditionnelles qui ont été utilisées pendant de nombreuses années sont susceptibles d'être bien comprises avec les principaux dangers, événements dangereux et mesures reconnus et gérés. Cependant, il se peut qu'il n'y ait souvent aucune expérience locale avec de nouveaux approvisionnements en eau, et les problèmes liés aux nouveaux approvisionnements seront spécifiques au contexte. Les agences de gestion de l'eau peuvent ne pas être familières avec les qualités et les défis de l'eau très différents liés aux nouvelles sources. Par exemple :

- Les fournisseurs d'eau domestiques avec les eaux de surface peuvent être contraints d'apporter des eaux souterraines, ou vice versa. Les approvisionnements en eau de surface contiennent rarement des métaux à des concentrations problématiques, mais les eaux souterraines le contiennent souvent. De plus, les eaux souterraines ont généralement une qualité d'eau assez stable, tandis que la qualité des eaux de surface peut être très variable.
- Les fournisseurs d'eau familiers avec l'approvisionnement en eau de grands réservoirs peuvent être contraints d'apporter des sources d'eau fluviales, ou vice versa. Les approvisionnements en eau de rivière contiennent rarement des cyanotoxines à des concentrations problématiques, mais les eaux des réservoirs le contiennent souvent. De plus, les eaux des réservoirs ont généralement une qualité d'eau assez stable, tandis que la qualité de l'eau des rivières peut être très variable.
- Les fournisseurs d'eau familiarisés avec une eau relativement propre peuvent être contraints d'utiliser des sources d'eau plus contaminées. L'eau des bassins hydrographiques non développés contient rarement des dangers à des concentrations problématiques, tandis que l'eau provenant des bassins hydrographiques développés contient souvent des concentrations plus élevées de dangers.
- Des dispositions innovantes de gestion de l'eau peuvent être mises en œuvre qui introduisent de nouveaux types de dangers et d'événements dangereux. Par exemple, il peut y avoir une dépendance accrue à l'égard de l'eau recyclée en milieu agricole et urbain, ce qui pourrait présenter des risques accrus de maladies liées à l'eau si elles sont interconnectées aux approvisionnements en eau potable.

5.3.2 Tenir compte des impacts liés au climat sur l'évaluation des risques

Le risque n'est pas simplement une évaluation de ce qui s'est passé dans le passé. L'évaluation des risques dans le contexte d'un PGSSE consiste en fait principalement à envisager ce qui pourrait se produire dans le futur. Le passé peut être un bon guide pour l'avenir, mais il n'est pas parfait, en particulier lorsque de nouvelles tendances émergent (ce que l'on appelle la perte de stationnarité).

Le changement climatique lui-même ne changera pas la nature fondamentale de ces menaces pour les services d'eau, mais il modifiera leur probabilité et leur gravité, et potentiellement l'étendue géographique de certaines menaces (3).

Une approche simple pour intégrer le changement climatique dans l'évaluation des risques consiste à évaluer, sur la base de scénarios de changement climatique, le changement probable du risque au fil du temps. Cela peut simplement indiquer une direction, par exemple si le risque est susceptible d'augmenter ou de diminuer avec le temps. Dans certaines circonstances, les preuves du changement climatique sont trop incertaines pour attribuer ne serait-ce qu'une direction au changement. Dans ces cas, il vaut la peine d'examiner le niveau de risque jugé acceptable et d'identifier des mesures de contrôle qui réduiront les risques dans tous les futurs scénarios potentiels de changement climatique.

Une telle évaluation des risques doit généralement s'appuyer sur une évaluation régionale de la vulnérabilité climatique (décrite dans la section 3) décrivant les effets du changement climatique et d'autres facteurs sur les ressources en eau et les risques associés au niveau régional générale. Les équipes du PGSSE peuvent utiliser cela pour examiner comment ces modèles à plus grande échelle sont susceptibles d'avoir un impact sur les systèmes spécifiques d'approvisionnement en eau qui sont sous leur contrôle direct comme base pour renforcer et adapter les stratégies de gestion des risques au sein du PGSSE..

L'impact du changement climatique sur les estimations de probabilité

La probabilité de conditions futures, ou fréquence d'occurrence est généralement attribuée par l'équipe du PGSSE en fonction de son expérience locale de la fréquence d'incidence historique. Les événements qui ne se sont produits que rarement dans le passé dans le contexte local peuvent être considérés comme rares à l'avenir, mais cela exige qu'il n'y ait pas de changement fondamental dans la nature des facteurs de l'événement dangereux.

Cependant, en entreprenant des évaluations des risques, l'équipe du PGSSE doit tenir compte de la probabilité d'événements futurs et ne pas se limiter à fonder les prévisions de probabilité sur le passé. Certains événements dangereux seront plus probables à l'avenir qu'ils ne l'étaient dans le passé, tandis que d'autres seront peut-être moindre. Par exemple, dans une zone susceptible de devenir plus chaude et plus humide en raison du changement climatique :

- La contamination des sources d'eau due à des précipitations de forte intensité peut avoir été rare dans le passé et peu probable dans un contexte spécifique, mais pourrait devenir plus fréquente à l'avenir.
- La défaillance des conduites d'eau due au gel peut devenir moins courante à l'avenir en raison de l'augmentation des températures.

Il sera difficile d'estimer des valeurs fermes sur la probabilité de certains scénarios, mais les événements dangereux pourraient simplement être classés selon que leur probabilité soit faible mais leur impact est élevé (événements à faible probabilité / impact élevé).

Si l'équipe du PGSSE ne tient pas en compte les probabilités futures dans son évaluation des risques, le PGSSE pourrait sous-estimer ou surestimer la probabilité et donc le risque de certains événements dangereux, entraînant une allocation sous-optimale des ressources.

Impact du changement climatique sur les estimations de conséquences

En entreprenant des évaluations des risques, l'équipe du PGSSE devrait également tenir compte des conséquences d'événements futurs et ne pas baser ses estimations uniquement sur des observations passées. Certaines conséquences seront probablement plus importantes à l'avenir, tandis que d'autres pourraient être moins importantes. Par exemple, dans une zone susceptible de devenir plus sèche en raison du changement climatique :

- La conséquence des cyanotoxines dans les eaux de source pourrait avoir été insignifiante dans le passé en raison du renouvellement régulier des sources, limitant leur capacité de charge pour les cyanobactéries à de faibles densités dans un contexte spécifique. Des densités élevées et plus conséquentes peuvent se produire à l'avenir dans des conditions de débit plus faibles.
- Les conséquences de l'arsenic provenant des sources d'eaux souterraines pourraient avoir été insignifiantes lorsque ces eaux souterraines représentaient une petite contribution à la quantité totale d'eau fournie dans le passé. La conséquence peut devenir plus importante à l'avenir si les eaux souterraines commencent à constituer une plus grande proportion de la source.

Comme pour la probabilité, si l'équipe du PGSSE ne prend pas en compte les conséquences futures dans son évaluation des risques, le PGSSE pourrait sous-estimer certains risques ou surestimer d'autres risques.

Impact du changement climatique sur l'efficacité des mesures de contrôle

Dans le processus du PGSSE, l'évaluation des risques décrite dans le module 4 implique de prendre en compte des mesures de contrôle existantes qui sont déjà en place pour gérer chaque événement dangereux et valider l'efficacité de ces mesures de contrôle. Les équipes du PGSSE doivent garder à l'esprit que l'efficacité des mesures de contrôle existantes peut changer avec les conditions climatiques changeantes, ce qui a un impact sur l'évaluation des risques. Lorsque les contrôles existants s'avèrent insuffisants pour gérer adéquatement les risques actuels ou futurs, des mesures de contrôle supplémentaires seront nécessaires (voir le module 5 ainsi que la section 5.4 du présent document pour plus d'informations).

5.4 Module 5 – Plan d'améliorations

5.4.1 Identifier des mesures de contrôle supplémentaires pour gérer les risques liés au climat

Pourquoi c'est important

Des mesures de contrôle supplémentaires sont nécessaires pour réduire les risques importants liés au climat identifiés et évalués dans les modules 3 et 4 à des niveaux acceptables. L'identification des mesures de contrôle qui améliorent la gestion des risques climatiques actuels, sera également nécessaire en tant que mesures de contrôle qui adoptent une approche stratégique pour gérer les risques futurs à long terme. Les mesures de contrôle qui aident à protéger l'approvisionnement en eau peuvent être spécifiques aux systèmes d'eau potable ou peuvent s'appuyer sur des améliorations plus larges de la gestion des ressources en eau visant à réduire les risques plus répandus liés aux catastrophes naturelles. Certaines de ces mesures de contrôle potentielles plus larges seront la responsabilité principale d'autres parties prenantes plutôt que de l'agence d'approvisionnement en eau et doivent donc être développées en partenariat avec d'autres acteurs.

Les mesures de contrôle qui réduisent les risques dans tous les scénarios futurs de climat et de développement peuvent être considérés comme « sans regret » ou « faible regret ». Cela signifie qu'elles offrent des avantages dans un large éventail d'avenir possibles. Par exemple, protéger les sources de la contamination par les animaux sera bénéfique pour réduire les risques que le changement climatique entraîne des conditions plus humides ou plus sèches.

Mesures de contrôle soutenant à la qualité de l'eau

L'identification, la mise en œuvre et la surveillance des mesures de contrôle pour gérer la qualité de l'eau est un élément essentiel de la planification de la sécurité de l'eau. Le tableau 3 ci-dessous fournit des exemples de mesures de contrôle ainsi que les dangers et événements dangereux associés qui peuvent être exacerbés par le changement climatique. Le rapport Vision 2030 (3) comprend également un ensemble de fiches d'information contenant des informations détaillées sur les options d'adaptation pour différentes technologies.

Mesures de contrôle et améliorations soutenant la disponibilité et la fiabilité de l'eau

Lorsque la disponibilité et la fiabilité de l'eau sont identifiées comme des risques importants, des mesures de contrôle sont nécessaires pour réduire les niveaux de risque. En termes de gestion des risques de rareté et de fiabilité, les options peuvent être classées comme options côté demande ou du côté offre. Les options côté demande visent à gérer la consommation et à accroître l'efficacité, réduisant ainsi la demande de sources d'eau. Les options du côté de l'offre, en revanche, visent à augmenter les rendements des sources et à développer de nouvelles sources pour augmenter l'eau disponible pour l'approvisionnement. Lors de l'examen de nouvelles sources d'eau potable, une évaluation des perspectives de quantitatives et qualitatives doit être effectuée. Une surveillance de base, ainsi qu'une évaluation des activités présentes sur le bassin hydrographique, devrait être effectuée pour établir les conditions et la qualité de l'eau à la source.

Dans les régions où l'eau est rare et la concurrence pour les ressources est élevée, en particulier pendant les épisodes de sécheresse, les options du côté de la demande sont attrayantes car elles n'augmentent pas la charge globale sur les ressources du bassin hydrographique. L'augmentation de l'efficacité des systèmes d'approvisionnement en eau a également l'avantage de réduire la consommation d'énergie, de réduire les coûts de traitement et de pompage de l'eau et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

En outre, les mesures de contrôle de la demande offriront ces avantages dans tous les scénarios climatiques futurs, tandis que le développement de nouvelles sources d'eau pourrait être compromis par les changements climatiques futurs, ce qui pourrait réduire les rendements des sources par rapport aux niveaux prévus. La sélection d'un portefeuille d'options du côté de la demande et de l'offre qui est robuste dans un large éventail de futurs scénarios potentiels est une stratégie utile pour gérer l'incertitude future.

5.4.2 Tenir compte des impacts du changement climatique sur les plans à long terme

Pourquoi ceci est important

Certaines mesures de contrôle du plan d'amélioration permettront de gérer les risques existants sur de courtes périodes et peuvent être périodiquement revues et ajustées lors de la révision des PGSSE. D'autres mesures, telles que la modernisation des infrastructures et de nouvelles sources d'approvisionnement, peuvent durer beaucoup plus longtemps. La prise en compte du changement climatique et des autres risques associés à la demande croissante et aux charges de pollution sera importante dans ces aspects à long terme des plans d'amélioration et de mise à niveau.

Les anciennes infrastructures peuvent nécessiter d'importants investissements substantiels pour leur entretien ou leur mise à niveau et seront probablement exploitées pendant de nombreuses décennies. En tant qu'approche générale, les stratégies d'adaptation pour l'infrastructure du système d'eau peuvent nécessiter des actions telles que :

- **Concevoir des infrastructures adaptables.** Les infrastructures hydrauliques ont souvent une longue durée de vie et seront utilisées dans des conditions climatiques et sociétales qui pourraient être très différentes de celles d'aujourd'hui. Les infrastructures qui peuvent être améliorées ou ajustées avec un coût et des perturbations minimaux sont mieux placées pour faire face aux incertitudes futures. Cela pourrait inclure la conception d'ouvrages de traitement de l'eau qui pourront être agrandis à l'avenir si la demande augmente plus que prévue.

- **Intégrer des facteurs de sécurité à l'infrastructure pour tenir compte de l'incertitude du climat futur.** Par exemple, l'augmentation de la capacité d'un stockage proposé peut être utilisée pour compenser l'incertitude dans les modèles de précipitations futurs. Le coût de cette opération pendant la phase de construction peut être bien inférieure à celui de tenter d'ajouter de la capacité à une date ultérieure ou de construire des sources supplémentaires. Cependant, cela n'est applicable que lorsque les coûts initiaux supplémentaires sont faibles par rapport à la compensation du risque.
- **Utiliser une gamme d'options pour atteindre un résultat.** Dans le contexte de l'eau, cela pourrait inclure l'utilisation diversifiée ou conjointe de sources d'eau telles que les eaux souterraines, et l'eau de surface, le dessalement, la récupération de l'eau de pluie, le recyclage de l'eau et les mesures d'efficacité de l'eau. Cela répartit le risque d'impacts du changement climatique sur une série de mesures plutôt que de compter sur une solution unique. Il convient de noter que le changement climatique n'est qu'une des nombreuses considérations dans l'élaboration de ces options. Par exemple, le dessalement résiste à la sécheresse mais consomme beaucoup d'énergie, ce qui peut augmenter les coûts et être contraire aux politiques d'atténuation du changement climatique.
- **Soutenir les infrastructures par des mesures non structurelles.** Les mesures non structurelles sont intrinsèquement plus adaptables que les actifs d'infrastructures fixes. Par exemple, les tarifs de l'eau peuvent être réformés périodiquement et utilisés pour influencer le comportement de la demande des consommateurs. Les investissements dans l'information, la planification et les politiques peuvent accroître la confiance dans la planification et la conception des actifs d'infrastructures.

Il existe un large éventail d'informations de base sur la prise de décision adaptative ; une introduction concise est fournie par Ranger (30).

5.5 Exemples d'impacts du changement climatique susceptibles d'influencer les dangers et les événements dangereux et les mesures de maîtrise des risques associées

Le tableau 3 est destiné à soutenir une prise en compte des considérations climatiques dans les modules 3, 4 et 5 du processus du PGSSE. Le tableau fournit des exemples de dangers et d'événements dangereux qui peuvent être influencés par les impacts des changements climatiques ainsi que des mesures de contrôles potentiels.

Notez que ce tableau fournit uniquement des exemples illustratifs. Le tableau ne prétend pas être exhaustif dans la mesure où de nombreux impacts, dangers, événements dangereux et mesures de contrôle importants peuvent manquer. De même, le tableau n'est pas universel dans la mesure où son contenu ne sera pas pertinent en toutes les circonstances.

Notez que la plupart des impacts, dangers, événements dangereux et des mesures de contrôle ne sont pas uniquement associés à la planification de la sécurité de l'eau dans le contexte du changement climatique. La plupart sont pertinents pour les PGSSE indépendamment du changement climatique. Le changement climatique n'a pour effet que de modifier les niveaux de risque et, par conséquent, de rendre des mesures de contrôles particuliers plus ou moins nécessaires.

Table 3. Exemples de dangers et d'événements dangereux qui peuvent être exacerbés par les changements climatiques et les mesures de maîtrise potentielles associées pour réduire le niveau de risque

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
Pathogènes entériques			
<p>Augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité des précipitations</p> <p>Réduction des profondeurs de réservoirs et de rotation</p>	<p>Virus, protozoaire et bactéries pathogènes, e.g. norovirus, <i>Cryptosporidium parvum</i> et <i>Campylobacter jejuni</i></p>	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la libération d'agents pathogènes en raison de précipitations plus intenses causant des ruptures d'enceinte de confinement des eaux usées, les systèmes de traitement et de gestion deviennent moins efficaces • Augmentation de la libération d'agents pathogènes en raison de précipitations plus intenses provoquant un plus grand transport de fumier des animaux au pâturage • Réduction de la dilution, de la sédimentation et de l'atténuation des sources d'eau à cause de l'augmentation de l'intensité des précipitations et de la stratification accrue des stockages d'eaux • Transfert accru d'agents pathogènes à travers les systèmes de traitement d'eau en raison de précipitations plus intenses et de volumes de réserves réduits, ce qui rend les systèmes de traitement de l'eau de boisson moins efficaces • Utilisation accrue des ressources d'eau pour les activités polluantes en raison de la disponibilité réduite des eaux alternatives • Contamination croisée dû à des réseaux d'assainissements endommagés ou à l'inondation des stations de pompage des eaux usées • Infiltration d'eau de surface dans les fosses septiques après des inondations entraînant un débordement d'effluent dans les ruisseaux et les rivières • Sélection de sources alternatives moins sûres en raison de la disponibilité limitée des ressources en eau dans des sources normales plus sûres • Eau de surface contaminée qui entre dans les têtes de puits après de grands événements de ruissellement • L'augmentation du débit latéral dans les sols après de fortes précipitations peut augmenter le transport des polluants, en particulier dans les nappes aquifères peu profonds 	<p>Maîtrises de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les eaux usées et le ruissellement du fumier provenant des bassins hydrographiques, en particulier des sources humaines et d'élevage intensif de jeunes animaux • Augmenter l'intégrité de la zone riveraine et le couvert végétal • Introduire ou améliorer le stockage d'eau de pluies et la capacité de gestion des systèmes de gestion des eaux usées • Augmenter la distance de retrait et améliorer les zones tampon du cours d'eau aux points de dépôt de matières fécales ou de stockage des effluents • Élaborer un plan de gestion de la sécheresse à long terme, par ex. augmenter la consommation / l'utilisation, trouver d'autres ressources en eau alternatives • Gardez le stockage aussi plein que possible pour maximiser le temps de détention • Protéger le stockage et les bassins hydrographiques des activités susceptibles d'introduire des agents pathogènes, par ex. les loisirs et les pâturages à proximité directe des ressources en eau • Réduire les surfaces imperméables dans les bassins hydrographiques pour réduire le ruissellement/afflux extrêmes • Bouchez les trous inutilisés et assurez-vous que les puits actuels sont correctement scellés du ruissellement de surface • Pour les puits profonds, assurez-vous que le tubage s'étend bien en dessous du niveau des aquifères peu profonds <p>Maîtrise du traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Améliorer ou introduire un traitement supplémentaire pour gérer l'augmentation du défi causé par l'augmentation des agents pathogènes pendant les événements de pointe. • Maintenir ou améliorer les niveaux de turbidité pendant le traitement, en particulier pendant les événements de pointe

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
Microorganismes se proliférant dans les systèmes de stockage et de distribution d'eau			
Augmentation des températures Réduction de la disponibilité de l'eau	<p>Les agents pathogènes opportunistes par ex. <i>Legionella</i> spp.</p> <p>Coliformes totaux et problèmes de conformité associés</p> <p>Biofilms et bactéries hétérotrophes de comptage sur plaques et problèmes de gestion associés</p> <p>Bactéries oxydantes l'ammoniac et difficultés associés au maintien des résidus de chloramine</p> <p>Actinomycètes et composés organoleptiques associés, par ex. géosmine</p>	<p>Survenant à des densités plus élevées plus fréquemment dans le système de distribution en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température de l'eau due au réchauffement de l'environnement • Une plus grande difficulté à maintenir le désinfectant résiduel en raison de l'augmentation de la température de l'eau • Une plus grande difficulté à maintenir le désinfectant résiduel en raison de la rotation réduite de l'eau au cas où il y a des restrictions sur l'utilisation de l'eau en vue de répondre à la disponibilité limitée de l'eau • Une plus grande difficulté à maintenir le désinfectant résiduel en raison de la diminution de la ressource, et par conséquent, difficulté à maintenir la qualité de l'eau traitée 	<p>Maîtrise de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire la demande en désinfectant en optimisant la sélection de la ressource pour minimiser la matière organique dans l'eau • Extraire de l'eau de source à partir de profondeurs plus fraîches • Augmenter les plantations d'ombre riveraines autour des stockages d'eau. <p>Maîtrises des traitements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire la demande en désinfectant en améliorant la coagulation • Augmenter les concentrations résiduelles de désinfectant au point de désinfection primaire • Introduire ou augmenter la désinfection d'appoint secondaire • Changement pour un désinfectant avec une décomposition réduite des du chlore résiduel (par exemple, du chlore à la chloramine, mais en tenant compte de la plus grande difficulté à gérer les résidus de chloramine dans de nombreux contextes) <p>Maîtrise du système de distribution :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire les niveaux de fonctionnement du réservoir de service d'eau traitée afin de réduire le temps de séjour hydraulique • Concevoir ou modifier le système afin de réduire le temps de séjour dans les conduites • Concevoir ou modifier le système pour minimiser la longueur des conduites peu profonds ou de surface (si possible) • Recouvrir les conduites et les toits des réservoirs exposés de peinture blanche ou faites de matériaux réfléchissants et évitez les couleurs sombres <p>Maîtrise de point d'utilisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Évitez de stocker l'eau dans des conteneurs exposés au soleil • Recouvrir les tuyaux et les toits des réservoirs exposés de peinture blanche ou de matériaux réfléchissants et éviter les couleurs sombres • Réfrigérer l'eau stockée

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
Algues et bactéries problématiques des ressources d'eau			
<p>Augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité de la précipitation</p> <p>Réduction des profondeurs de stockage et de rotation</p>	<p>Cyanobactéries et les cyanotoxines associés, par ex le microcystine, et les composés organoleptiques par ex, le géosmine</p> <p>Diatomées et les composés organoleptiques associés, par ex, les composés d'<i>Asterionella</i> spp et des diatomées obstruant les filtres, par ex, <i>Synedra</i> spp.</p> <p>Cyanobactéries benthiques et les cyanotoxines associés, par ex, les saxitoxines, et les composants organoleptiques par ex, géosmine</p> <p>Actinomycètes benthiques et les composés organoleptiques associés, par ex, géosmine</p>	<p>Survenant à des densités plus élevées plus fréquemment dans le réservoir de la ressource d'eau à cause de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température de l'eau • Augmentation du temps de séjour hydraulique en raison de périodes de sécheresse plus prolongées • Augmentation des charges d'éléments nutritifs en raison de l'augmentation de l'intensité des précipitations • Augmentation des concentrations de nutriment dû à une diminution de la dilution, en particulier à partir de sources ponctuelles • Une plus forte stratification due à des débits réduits • Changement de niche biologique conduisant à des changements dans les espèces dominantes présentes à des types non considérés ou expérimentés auparavant dans le contexte 	<p>Maîtrise de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire les charges de nutriments dans les réserves d'eau • Établir des zones humides et des zones tampons riveraines pour retenir les nutriments du ruissellement et minimiser l'érosion du sol • Dans la mesure du possible, utiliser un captage sélectif en profondeur pour puiser l'eau des profondeurs du réservoir, ce qui minimisera les concentrations de dangers • Augmenter les plantations d'ombre riveraines autour des stockages d'eau • S'il s'avère que le fond du problème est un faible taux de rotation, faire fonctionner les stockages et les flux pour maximiser la rotation • Gardez les stockages au-dessus des niveaux qui pourraient entraîner une influence benthique importante sur les profondeurs supérieures si un problème survient dans les strates inférieures • Introduire un mélange artificiel pour réduire la stratification et oxyder les nutriments • Doser les algicides à titre préventif pour maintenir les concentrations en dessous des niveaux problématiques • Protégez le stockage d'eau contre les activités qui pourraient endommager les macrophytes, par ex. les loisirs, contribuant ainsi à empêcher le passage des macrophytes aquatiques à la dominance planctonique • Réduire les surfaces imperméables des bassins hydrographiques pour réduire les débits d'entrée • Couvrir les petits stockages d'eau où le risque est important <p>Maîtrise des traitements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrêtez la pré-oxydation avant la filtration pour éviter de tuer les cellules, ce qui libérerait des toxines, des composés organoleptiques • Augmentez la désinfection primaire après filtration pour rendre inactives les toxines • Optimiser la coagulation et la filtration pour éliminer les cellules d'algues • Opter pour un désinfectant capable d'éliminer les toxines et les composés organoleptiques, par ex. ozonation • Introduire la capacité d'éliminer les toxines et les composés de goût et d'odeur, par ex. charbon actif en poudre ou charbon actif granulaire <p>Point de maîtrise d'utilisation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stocker l'eau dans un endroit obscur

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
Plantes problématiques			
<p>Augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité de la précipitation</p> <p>Réduction des profondeurs de stockage et de rotation</p>	<p>Mauvaises herbes aquatiques et perte d'utilité du réservoir par ex. <i>Cabomba</i></p>	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la pénétration de la lumière en raison de la diminution de la turbidité, causée par un faible ruissellement. • Augmentation de la température de l'eau • Augmentation du temps de séjour hydraulique en raison de périodes de sécheresse plus prolongées • Augmentation des charges d'éléments nutritifs en raison de l'augmentation de l'intensité des précipitations • Augmentation des concentrations de nutriments due à une dilution réduite, en particulier à partir de sources ponctuelles • Stratification plus forte due à des débits réduits • Changement de niche biologique conduisant à des changements des espèces dominantes présentes à des types non considérés ou expérimentés auparavant dans le contexte 	<p>Maîtrise de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser le ruissellement des nutriments, en particulier le phosphore, provenant du bassin hydrographique • Établir des zones humides à des emplacements clés des bassins hydrographiques pour conserver les nutriments • Récolter mécaniquement les mauvaises herbes de l'eau • Tuez les mauvaises herbes en utilisant des herbicides sans danger pour une utilisation dans l'eau de boisson • Augmenter les plantations d'ombre riveraines autour des stockages d'eau • Doser les herbicides pour maintenir les concentrations en dessous des niveaux problématiques • Protéger le stockage des activités qui pourraient introduire des mauvaises herbes aquatiques problématiques, par exemple loisirs nautiques

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
Produits chimiques toxiques			
<p>Augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité de la précipitation</p> <p>Réduction des profondeurs de stockage et de rotation</p>	<p>Produits Chimiques agricoles, par ex, nitrate</p>	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la dilution dans les sources d'eau en raison du ruissellement réduit • Intensité accrue de l'agriculture dans les zones qui sont encore viables en raison des réductions liées à la sécheresse de la superficie agricoles totales disponibles Changement pour une eau potentiellement plus contaminée en raison d'une augmentation des prélèvements et d'un débit d'entrée moindre, ce qui entraîne un changement des ressources en eau contributives • Sélection de sources alternatives moins salubre en raison de la disponibilité limitée des ressources en eau dans des sources normales plus sûres • Augmentation des charges d'éléments nutritifs dans les eaux de source après de grands ruissellements • Contamination des eaux souterraines due à l'infiltration de polluants lors de fortes précipitations • L'augmentation de l'écoulement latéral dans les sols après de fortes précipitations peut augmenter le transport des contaminants, en particulier dans les aquifères peu profonds 	<p>Maîtrise de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser le ruissellement agrochimique provenant des bassins hydrographiques et zones de recharge • Minimiser l'utilisation de produits agrochimiques à haut risque dans les zones de recharge • Limiter les activités agricoles à haute intensité dans les zones clés des bassins hydrographiques et de recharge • Extraire l'eau des aquifères plus profonds ou mieux confinés • Boucher les trous inutilisés et s'assurer que les puits actuels sont correctement scellés du ruissellement de surface • Pour les puits profonds, s'assurer que le tubage s'étend bien en dessous du niveau des aquifères peu profonds <p>Maîtrise du traitement:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introduire un traitement par osmose inverse

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
	Transfert des produits chimiques de la géologie des terres dans l'eau souterraine, par ex. arsenic et fluorure	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baisse de la dilution dans les sources d'eau en raison de la diminution des débits d'entrée ou de recharges pendant les périodes de sécheresse prolongées • Passage à de l'eau potentiellement plus contaminée due à une extraction accrue ou sur-extraction et moins d'afflux conduisant à un changement des ressources en eau contributive • Sélection de ressources alternatives moins salubres en raison de la disponibilité limitée des sources en eau normales plus salubres 	<p>Maîtrise de la ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abstraire ressource d'eau moins contaminées • Évitez la sur-extraction qui pourrait rendre les ressources en eau contributives plus contaminées • Utiliser plusieurs ressources pour diluer les polluants <p>Maîtrise des traitements:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimiser le traitement existant pour éliminer les produits chimiques, par ex. l'optimisation de la coagulation • Introduire un traitement amélioré, par ex. la pré-oxydation, échange ionique, adsorption chimique ou osmose inverse
	Sous-produits de la désinfection par ex. acides haloacétiques	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la dilution des précurseurs organiques dans les ressources d'eau en raison des afflux ou recharges réduits pendant des périodes de sécheresse plus prolongée • Augmentation de la concentration des précurseurs organiques de l'eau de source en raison de l'augmentation du ruissellement dû à l'intensité des précipitations • Augmentation de la matière organique du phytoplancton dû à la réduction du débit de la rivière et de la concentration accrue de nutriments • Augmentation de la concentration des désinfectants pour maintenir les résiduels à des conditions de flux plus chauds et plus lents • Augmentation du temps de séjour dans le réseau de distribution au cas où il y a des restrictions d'utilisation de l'eau pour répondre à la disponibilité réduite de l'eau 	<p>Maîtrise de la source :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimiser le ruissellement des nutriments, en particulier le phosphore, provenant du bassin hydrographique • Établir des zones humides dans des emplacements clés des bassins hydrographiques pour y retenir les nutriments • Remplacer la végétation qui contribue à des niveaux élevés de ruissellements organiques par des végétations moins problématiques • Introduire un mélange artificiel pour réduire la stratification et l'oxydation des nutriments • Protégez le stockage contre les activités telles que les nautiques qui pourraient introduire de la matière organique <p>Maîtrise des traitements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimiser le traitement existant pour éliminer les précurseurs, par ex. l'optimisation de la coagulation • Évitez la pré-oxydation avec du chlore afin de limiter la formation des sous- produits de désinfection • Introduire un traitement amélioré, par ex. la pré-oxydation, l'échange ionique, l'adsorption chimique ou l'osmose inverse • Introduire de meilleures stratégies de désinfection optimisées telles que l'utilisation de la désinfection d'appoint en lieu et place de la désinfection primaire excessive • Passez à l'utilisation de désinfectants primaires avec un potentiel réduit de formation de sous-produits, par ex. l'ultra-violet (UV) ou ozone

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
			<p>Maîtrise du système de de distribution :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduire les niveaux de fonctionnement du réservoir de service d'eau traitée pour réduire le temps de résidence hydraulique • Passez à l'utilisation de désinfectants résiduels à moindre potentiel de formation de sous-produits de désinfection, comme la chloramine plutôt que le chlore libre pour maintenir le résiduel • Concevoir ou modifier le système pour réduire le temps de séjour dans les conduites
	Des métaux libérés par les sédiments, par ex. le manganèse	<p>Survenant à des concentrations plus élevées plus fréquemment dans le réservoir de la ressource d'eau en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la dilution de la quantité globale de la pluviométrie • Une plus forte stratification et une réduction de la pénétration d'oxygènes dissous en raison d'une hausse de température • Formation de sols sulfatés acides, en raison de l'exposition et de la réhumidification des sédiments 	<p>Maîtrise de la source d'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gérer les régimes du débit des rivières et des zones humides pour minimiser la formation de sols sulfatés acides • Extraire les ressources d'eau à partir des profondeurs qui minimisent les concentrations des dangers • Exploiter les stockages et les flux pour maximiser la rotation • Gardez les stockages au-dessus des niveaux qui pourraient conduire à une importante influence benthique sur les profondeurs supérieures • Introduire un mélange artificiel pour réduire la stratification et oxyder les métaux <p>Maîtrise des traitements :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimiser le traitement existant pour supprimer les métaux, par ex. optimisation de la coagulation • Introduire un traitement amélioré, par ex. l'aération, pré-oxydation, échange d'ions, adsorption chimique ou osmose inverse
Dangers physiques			
<p>Elévation du niveau de la mer en raison de l'augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité la précipitation</p>	Salinité	<p>Entrée saline dans les estuaires côtiers et les eaux souterraines en raison de l'augmentation du niveau de la mer ou sur-extraction d'eaux douces influencé par les eaux souterraines salines</p> <p>La diminution de la recharge peut augmenter la salinité des ressources de certaines eaux souterraines</p> <p>Diminution du ruissellement dans les eaux d'amont des bassins hydrauliques conduisant à une</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenir des débits de dilution critiques dans les rivières et les ruisseaux • Minimiser les charges salines élevées provenant de sources spécifiques entrant dans les rivières et les ruisseaux (par ex. drainage d'irrigation ou déversement de zones humides) • Maintenir ou améliorer la végétation du paysage pour réduire la salinisation des eaux souterraines peu profondes • Maîtriser les taux d'extraction pour empêcher les infiltrations salines • Rechargez les aquifères avec des eaux usées pour empêcher les infiltrations salines

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
	Turbidité	<p>Survenant à des concentrations plus élevées dans l'eau traitée en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensité accrue de l'agriculture dans des zones encore viables en raison de réductions des superficies agricoles disponibles à cause de la sécheresse • Augmentation de la turbidité due à des précipitations plus intenses causant une plus grande érosion des terres agricoles, des ruisseaux et des charges d'eaux pluviales urbaines 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimiser les charges de sédiments provenant des eaux pluviales agricoles et urbaines • Stabiliser le lit du cours d'eau et les berges pour minimiser l'érosion • Établir des zones humides dans les principaux bassins hydrographiques pour conserver les nutriments • Augmenter l'intégrité de la zone riveraine et le couvert végétal
Généralité			
<p>Augmentation des températures</p> <p>Réduction des volumes de ruissellement</p> <p>Augmentation de l'intensité de la précipitation</p> <p>Réduction des Profondeurs duréservoir et de la rotation</p>	<p>Des dangers à la qualité des eaux qui existent dans de nouvelles ressources en eau</p>	<p>Un danger devient problématique dû à une nouvelle ressource en eau utilisée pour augmenter l'approvisionnement en eau de boisson ou une nouvelle ressource d'eau utilisée au lieu d'une ressource en eau existante (voir ci-dessus pour des exemples de dangers pour les quels ceci est un événement dangereux potentiel)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Considérer soigneusement tous les dangers qui pourraient concerner la nouvelle ressource d'eau • Entreprendre des tests de référence sur la qualité de l'eau de la nouvelle ressource en eau • Examiner la capacité des systèmes de traitement existants par rapport aux exigences de traitement de la nouvelle ressource d'eau et augmenter le traitement si nécessaire • Exploiter la ressource d'eau en supposant le pire des cas quant à sa qualité en l'absence de connaissances sur cette qualité jusqu'à ce que de nouvelles connaissances soient réunies
<p>Augmentation de l'intensité du vent</p>	<p>Des dangers à la qualité de l'eau qui causent des incidents inattendus</p>	<p>Un danger devient problématique s'il n'est pas prévu et est seulement révélé après que des conséquences adverses surviennent ou soient sur le point de se produire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre l'accent sur l'évaluation des risques émergents ou futurs • Maintenir un plan de gestion des incidents et des urgences liés à la qualité de l'eau • Préparer des plans d'urgence spécifiques pour les scénarios dangereux prévisibles • Identifier des ressources alternatives disponibles • Augmenter la capacité de stockage de l'eau traitée pour éviter les périodes problématiques • Mettre en place des systèmes pour permettre des alertes rapides par la communauté, par exemple alertes d'ébullition de l'eau, et avis et ordres d'évitement de la consommation d'eau

Exemple d'impacts du changement climatique	Exemples de dangers	Exemples d'événements dangereux potentiellement exacerbés par la variabilité et le changement climatique	Exemples de mesures de maîtrise qui peuvent devenir plus importantes pour gérer les risques posés par la variabilité et le changement climatiques
	Des dangers à la qualité de l'eau qui sont présents dû à de nouvelles dispositions de gestion	Un danger devient problématique dû à une nouvelle disposition de gestion de l'eau qui peut conduire à de nouvelles expositions de l'eau ou des nouvelles jonctions, par ex. gérer la demande en eau potable en approvisionnant une eau non potable pour certaines utilisations (usage extérieur, chasse d'eau des toilettes)	<ul style="list-style-type: none"> • Considérez soigneusement tous les dangers qui pourraient concerner les dispositions de gestion de l'eau alternative • Assurer que les systèmes de traitement réduisent suffisamment les concentrations de danger dans l'eau alternative pour permettre et l'utilisation prévue et imprévue, mais aussi l'utilisation inévitable et l'exposition de cette eau • Mettre en œuvre des systèmes rigoureux pour éviter les expositions excessives au-delà de celles destinées à l'approvisionnement en eau alternative non-potable • Mettre en œuvre des systèmes rigoureux pour empêcher des jonctions ou contacts involontaires qui pourraient contaminer l'approvisionnement en eau potable par l'approvisionnement en eau alternative non potable • Exploiter la ressource en eau alternative en supposant le pire des cas quant à sa qualité en l'absence de connaissances sur cette qualité jusqu'à ce que de nouvelles connaissances soient réunies
	Des dangers à la qualité de l'eau qui surviennent dû aux effets sur les infrastructures	<p>Un danger devient problématique dû à une défaillance des systèmes d'approvisionnement en eau résultant par exemple de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coupures et pertes de courant des systèmes de pompage et de traitement dû à la chaleur • Coupures et perte de courant des systèmes de pompage et de traitement dû au vent • Dommages directs à l'infrastructure causés par les vents violents, par ex. réservoirs de stockage • Inondations submergeant les systèmes de traitement et les actifs en général • Défaillances d'actifs liées à la chaleur telles que l'augmentation du taux d'éclatements des tuyaux dû au mouvement du sol occasionné par chaleur et la sécheresse • Effets de la chaleur sur les produits chimiques de traitement de l'eau tels que la perte d'efficacité de l'hypochlorite de solution sodium • Le séchage du paysage conduit à la fissuration des berges et la dégradation des tuyaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Installer des systèmes de secours pour les infrastructures critiques et développer des options secours d'approvisionnement en eau pour solutionner en cas de panne du système • Développer des systèmes pour fournir de l'eau salubre en cas de panne du système • Stocker les produits chimiques et les matériaux critiques à l'abri de la chaleur excessive • Choisir des matériaux et des produits chimiques qui peuvent résister à des températures élevées • Installer des actifs robustes et utiliser des procédures d'installation qui protègent les actifs des contraintes liées à la chaleur, aux mouvements du sol et inondations

5.6 Modules 8 et 9 - Procédures de gestion et programmes de soutien

Pourquoi ceci est important

La prise en compte et l'intégration des aspects pertinents du changement climatique, ainsi que la GIRE et la RRC, élargiront le groupe de parties prenantes dont les responsabilités se chevauchent celles qui préparent le PGSSE. Les équipes des PGSSE doivent acquérir un degré de familiarité avec le langage et les concepts des autres professions concernées. Les équipes doivent identifier les opportunités et les pratiques pour travailler en partenariat avec d'autres et influencer les plans des autres lorsque celles-ci empiètent sur la portée et la réalisation du PGSSE. Dans de nombreux pays, il existe des actions et processus nationaux ou régionaux déjà établis couvrant les questions de GIRE et de RRC et ceux-ci fournissent des moyens de traiter à certains des impacts plus larges du changement climatique sur les PGSSE.

5.6.1 Tenir compte des urgences climatiques et météorologiques lors de l'élaboration des procédures de gestion

Un PGSSE devrait inclure la préparation aux incidents, catastrophes et événements extrêmes dans le cadre du module 8. Les plans d'intervention en cas d'inondation et de sécheresse, par exemple, sont généralement traités par les équipes du PGSSE et peuvent recevoir une attention prioritaire lorsque la variabilité et le changement climatiques sont pris en compte dans le processus du PGSSE. Les événements météorologiques extrêmes peuvent soit conduire à une défaillance d'infrastructures externes, affectant la sûreté de l'eau et la sécurité de l'approvisionnement (par exemple en cas de coupure d'électricité ou une interruption du transport), soit avoir un impact direct sur les composants du système d'approvisionnement en eau lui-même (par exemple en limitant la disponibilité de l'approvisionnement, la rupture des canalisations, l'augmentation des polluants). En intégrant les types de catastrophes pertinents et leurs conséquences potentielles dans un PGSSE, le PGSSE peut contribuer à la RRC par une meilleure préparation et une planification d'urgence pour faciliter la sécurité de l'eau en cas d'urgence ainsi que le rétablissement plus rapide des fonctions normales après un événement.

Une planification approfondie des interventions d'urgence implique souvent l'identification des sources d'approvisionnement en eau alternatives à utiliser pendant l'urgence. Lors d'une catastrophe, il est probable que les services de protection civile demanderont conseil à l'organisation de l'approvisionnement en eau sur la fourniture d'un approvisionnement sûr en cas de rupture de l'approvisionnement normal. Dans de nombreux cas, de nouveaux approvisionnements en eau ou de nouveaux dispositifs de gestion de l'eau sont mis en œuvre en cas d'urgence sans avoir suffisamment de temps pour comprendre et gérer correctement les risques qui peuvent survenir. Par exemple, les usines de traitement existantes conçues pour de l'eau présentant certaines caractéristiques peuvent être confrontées au traitement d'un type d'eau très différent, et peuvent ne pas le faire de manière adéquate. Une préparation précoce grâce à l'élaboration de procédures de gestion des urgences aidera grandement à gérer les risques liés à la qualité de l'eau potable qui pourraient survenir en raison du changement climatique. Des années de préparation peuvent être nécessaires pour examiner la qualité des sources alternatives d'eau et établir et mettre en œuvre les exigences de gestion et de traitement des sources d'eau pour les nouvelles sources. Pour tous les approvisionnements en eau dans les zones susceptibles d'être affectées par le changement climatique, une bonne planification prévisionnelle est essentielle. La planification prospective devrait impliquer l'évaluation des options d'approvisionnement en eau d'un point de vue de la quantité et de la qualité. Cela peut inclure une surveillance de base et une évaluation des activités se déroulant dans le bassin versant pour établir les conditions et la qualité de l'eau à la source.

Une bonne pratique consiste à tester les plans d'intervention d'urgence par le biais de jeux de rôle et d'exercices de « journée ensoleillée ». L'équipe du PGSSE pourrait en outre identifier les opportunités de contribuer à la sécurité de l'eau aux exercices d'urgence organisés par d'autres (par exemple un exercice d'incident majeur d'inondation).

L'OMS et le Centre de Développement de l'Ingénierie de l'Eau (WEDC) ont préparé une série de notes techniques relatives à l'approvisionnement en eau potable et d'assainissement dans les situations d'urgence (31) qui peuvent éclairer la planification des interventions d'urgence. Ces notes fournissent des recommandations pratiques et factuelles pour répondre aux besoins immédiats et à moyen terme en eau, assainissement et hygiène des populations affectées par les situations d'urgence. Les notes concernent un large éventail de situations d'urgence, y compris les catastrophes naturelles et provoquées par des conflits. Ils conviennent aux techniciens de terrain, aux ingénieurs et aux promoteurs d'hygiène, ainsi qu'au personnel du siège de l'agence. Les notes couvrent les aspects suivants :

1. Nettoyage et désinfection des puits.
2. Nettoyage et désinfection des trous de forage.
3. Nettoyage et désinfection des réservoirs de stockage d'eau et des camions citernes.
4. Réhabiliter les petits réseaux de distribution d'eau courante.
5. Traitement d'urgence de l'eau de boisson au point d'utilisation.
6. Réhabilitation des ouvrages de traitement des eaux après une urgence.
7. Gestion des déchets solides dans les situations d'urgence.
8. Élimination des cadavres dans des conditions d'urgence.
9. Quelle quantité d'eau est nécessaire en cas d'urgence.
10. Promotion de l'hygiène dans les situations d'urgence.
11. Mesurer les niveaux de chlore dans l'approvisionnement en eau.
12. Fournir de l'eau potable par camion-citerne.
13. Planification de l'élimination des excréments en cas d'urgence.
14. Options techniques pour l'élimination des excréments en cas d'urgence.
15. Nettoyage de puits après une inondation d'eau de mer.

5.6.2 Inclure la gestion des risques climatiques dans les programmes de soutien

Supporting programmes, which are addressed in module 9 of the WSP process, provide a valuable opportunity to strengthen the institutional and individual capacities of water providers for the management of risks associated with scarcity and reliability of water in addition to risks linked to water quality. These programmes can bring together stakeholders from different disciplines to support a more holistic and basin-based approach to water resource management for more resilient water supply. Research programmes can be used to fill knowledge gaps and provide data bases to support the best decision making and future actions of the WSP. A wide range of potential support programmes have been identified and are grouped below in terms of capacity building, stakeholder engagement and research.

Les programmes de soutien qui sont abordés dans le module 9 du processus du PGSSE offrent une opportunité précieuse de renforcer les capacités institutionnelles et individuelles des fournisseurs d'eau pour la gestion des risques associés à la pénurie et à la fiabilité de l'eau en plus des risques liés à la qualité de l'eau. Ces programmes peuvent réunir des parties prenantes de différentes disciplines pour soutenir une approche plus holistique et basée sur les bassins versants de la gestion des ressources en eau pour des approvisionnements en eau plus résilients. Les programmes de recherche peuvent être utilisés pour combler les lacunes dans les connaissances existantes et fournir les bases de données probantes pour soutenir la meilleure prise de décision et les futures actions du PGSSE. Un large éventail de programmes d'appui potentiels ont été identifiés et sont regroupés ci-dessous en fonction du renforcement des capacités, de l'engagement des parties prenantes et de la recherche.

Le développement des capacités peut couvrir une gamme de thèmes, pouvant comprendre les aspects suivants :

- Comprendre les principes de la GIRE et les dispositions institutionnelles pour la gestion et l'utilisation des ressources en eau ;
- La planification stratégique des ressources en eau et de l'approvisionnement en eau, y compris l'utilisation de prévisions de l'offre et de la demande et des scénarios de changement climatique pour explorer les incertitudes futures ;
- La variabilité et le changement climatiques et l'hydrologie pour appuyer la compréhension des processus régissant les rendements des sources et les impacts du changement climatique sur l'hydrologie ;

- La gestion de la demande, y compris le contrôle des fuites, le changement de comportement des consommateurs et des techniques pour améliorer l'efficacité opérationnelle ;
- La gestion et la planification des inondations ou des sécheresses, y compris l'élaboration de règles de contrôle et de déclencheurs et de procédures de gestion pour gérer les risques pour l'approvisionnement en eau.

Les programmes d'engagement et de sensibilisation des parties prenantes peuvent prendre en compte:

- établissement de partenariats avec d'autres parties prenantes, telles que d'autres acteurs (agriculture, industrie, énergie, etc.) et les ministères et organismes responsables de la gestion des ressources en eau et de l'environnement, pour favoriser une meilleure coordination de la gestion de l'eau et la préservation de la qualité et de la quantité de l'eau.

Les programmes de recherche peuvent constituer la base de données probantes dans des domaines tels que :

- La modélisation du système d'approvisionnement en eau pour appuyer une efficacité opérationnelle accrue et des investissements en capital ciblés ;
- L'hydrologie des bassins versants et la modélisation des sources pour améliorer les estimations de rendement et permettre la réalisation d'études d'évaluation de l'impact du changement climatique ;
- La collecte de données et la surveillance des problèmes de qualité et de quantité d'eau, tels que les volumes d'eau de source et les volumes de fuite du système et autres pertes du système ;
- Des projets pilotes pour étudier la faisabilité de nouvelles technologies pour améliorer l'efficacité et l'efficacité des activités de planification et d'exploitation.

En ce qui concerne le changement climatique, la science et la compréhension locale et régionale du changement climatique et de ses impacts se développent. Ainsi, les aspects du changement climatique du PGSSE devraient être revus régulièrement. Ceci est déjà impliqué par l'inclusion de « Recherche et développement » dans l'outil 5.1 du *Manuel du plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau*. L'organisation responsable du PGSSE peut déjà financer ou contribuer à la recherche et au développement sur le changement climatique pour sa propre planification et gestion des ressources. En outre, d'autres activités de recherche et développements pourraient être en cours, financées par d'autres institutions. L'équipe du PGSSE peut envisager de nommer un expert pour examiner et conseiller sur les développements en science du climat, l'évaluation des impacts et l'adaptation, qui sont pertinents pour l'équipe PGSSE. L'adaptation aux changements climatiques sera un élément important de la GIRE.

Pour soutenir la planification des interventions d'urgence et la RRC (module 8), l'équipe du PGSSE devrait examiner les leçons et la compréhension qui peuvent être intégrées dans le PGSSE à partir des examens post-événement dans d'autres régions du pays ou plus loin, ainsi qu'à la suite de tout événement vécu par le fournisseur d'eau eux-mêmes.

Informations complémentaires et conseils

6

6.1 Introduction

Certains outils, modèles et ressources de données ont été développés pour aider à la planification d'urgence et à la prévision des impacts des changements climatiques. Cette section fournit d'autres référentiels pour les équipes du PGSSE qui traitent des questions de changement climatique dans le cadre du processus du PGSSE. Les référentiels sont destinés à présenter aux équipes du PGSSE les concepts clés de la gestion des risques climatiques et à élargir la compréhension des équipes sur les questions de changement climatique et les opportunités potentielles que la gestion des ressources en eau et la RRC peuvent offrir pour soutenir la résilience climatique dans le processus du PGSSE. Les ressources ne sont en aucun cas exhaustives, mais visent à donner un aperçu de la documentation de base. Les portails web suivants donnent accès à une gamme de ressources supplémentaires :

- Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques : <http://www.ipcc.ch/>
- Site web de prévention des risques de catastrophe: <http://www.preventionweb.net/>
- Partenariat Mondial pour l'Eau: <http://www.gwp.org/>

6.2 Ressources supplémentaires sur les changements climatiques et les approvisionnements en eau

6.2.1 Outils et sources de données

Intitulé	Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) (Projet d'inter-comparaison de modèles couplés)
Description	Le CMIP est un programme continu du Programme Mondial de Recherche sur le Climat visant à développer des normes communes pour les modèles de circulation générale, en utilisant les contributions de nombreux modèles et équipes différents. Le projet donne accès à des ensembles de données sur les projections climatiques pour différents scénarios.
Référentiel	World Climate Research Programme's Working Group on Coupled Modelling (Groupe de Travail du Programme Mondial de Recherche Climatique sur la Modélisation Couplée)
Lien	http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html?submenuheader=0
Intitulé	CORDEX project (Projet CORDEX)
Description	CORDEX est un projet international basé en Suède qui vise à évaluer et à améliorer les modèles climatiques régionaux, à produire des ensembles de données coordonnés de projections à échelle réduite et à améliorer l'utilisation des données climatiques régionales.
Référentiel	World Climate Research Programme's CORDEX project (Programme CORDEX du Programme Mondial de Recherche sur le Climat)
Lien	http://cordex.org

Intitulé	Water Information System for Europe (WISE) (Système d'Informations sur l'Eau pour l'Europe)
Description	WISE est la porte d'entrée des informations de l'Union européenne sur l'eau. WISE offre un accès aux données via l'Agence Européenne pour l'Environnement, EUROSTAT et le Centre Conjoint de Recherche sur des thématiques allant du risque d'inondation à la qualité de l'eau.
Référentiel	Système d'Informations sur l'Eau pour l'Europe, Commission Européenne / Agence Européenne pour l'Environnement
Lien	http://water.europa.eu/
Intitulé	Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Outil d'Evaluation des Sols et de l'Eau)
Description	SWAT est un outil de modélisation hydrologique du domaine public qui peut être utilisé pour évaluer les impacts du changement climatique sur la qualité et la quantité de l'eau. SWAT fournit également des outils d'analyse des données climatiques et météorologiques. SWAT n'est qu'un des nombreux modèles qui peuvent être utilisés pour évaluer les impacts climatiques sur les processus hydrologiques, et ces modèles varient dans leurs exigences de licence.
Référentiel	Outil d'Evaluation des Sols et de l'Eau, Service de Recherche Agricole du Département de l'Agriculture des États-Unis /Texas A&M Recherche AgriVie
Lien	http://swat.tamu.edu/
Intitulé	Aqueduct Global Flood Analyser (Analyseur d'Inondation Global Aqueduct)
Description	Développé par l'Institut Mondial des Ressources, l'Analyseur d'Inondation Global Aqueduct est une plate-forme web qui fournit des informations sur les risques d'inondation à l'échelle mondiale. L'utilisateur peut évaluer le risque annuel d'inondation sur les sites fluviaux et côtiers et estimer les dommages économiques potentiels.
Référentiel	Analyseur d'Inondation Global Aqueduct, Institut Mondial des Ressources
Lien	http://www.wri.org/resources/maps/aqueduct-global-flood-analyzer
Intitulé	Water Evaluation and Planning (WEAP) (Évaluation et Planification de l'Eau)
Description	WEAP est un outil de modélisation pour la planification intégrée des ressources en eau. Le modèle incorpore l'environnement naturel à l'environnement technique et permet à l'utilisateur d'évaluer les impacts des différentes options politiques et allocations d'eau.
Référentiel	Water Evaluation and Planning tool, Stockholm Environment Institute (Outil d'Evaluation et de Planification de l'Eau, Institut de Stockholm pour l'Environnement)
Lien	http://weap21.org/index.asp?NewLang=EN
Intitulé	earth2Observe Water Cycle Integrator (WCI) (Intégrateur de Cycle de l'Eau earth2Observe)
Description	C'est un outil développé dans le cadre d'un projet financé par l'Union européenne pour collecter des sources de données mondiales sur la gestion des ressources en eau. L'utilisateur peut créer des cartes définies par l'utilisateur avec des couches telles que les précipitations, la température, le débit et les indicateurs des eaux souterraines et de surface.
Référentiel	earth2Observe Water Cycle Integrator (WCI), earth2Observe project
Lien	https://wci.earth2observe.eu/

6.2.2 Directives et documents

Intitulé	Vision 2030: la résilience de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement face aux changements climatiques
Description	L'étude Vision 2030 du DFID et de l'OMS vise à mieux comprendre comment les changements climatiques anticipés peuvent affecter les services d'eau potable et d'assainissement et ce qui peut être fait pour optimiser la résilience des technologies, des infrastructures et des services. Un résumé destiné aux décideurs est étayé par plusieurs publications techniques qui fournissent des informations de base utiles aux équipes du PGSSE.
Référentiel	Organisation Mondiale de la Santé et Département du Développement International. Vision 2030: la résilience de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement face aux changements climatiques. Rapport technique. Genève: Organisation Mondiale de la Santé; 2010.
Lien	http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241598422/en/
Intitulé	Directives sur l'approvisionnement en eau et l'assainissement lors d'événements météorologiques extrêmes
Description	Cette publication résume comment les procédures de base de préparation aux catastrophes et d'alerte précoce peuvent être mises en œuvre dans le secteur de l'eau et des eaux usées dans le contexte européen, et identifie les défis spécifiques des événements météorologiques extrêmes pour les zones vulnérables. Elle fournit des directives sur la mise en œuvre des PGSSE avec une attention particulière aux petits systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement ; et sur le multisectoriel, la coopération, y compris la communication. Elle comprend également un examen de l'expérience et des bonnes pratiques dans la Région européenne, résumant les mesures d'adaptation éprouvées pour les services d'eau, le drainage et l'assainissement, et les systèmes de traitement des eaux usées lors de conditions météorologiques extrêmes.
Référentiel	Organisation Mondiale de la Santé et Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe. Directives sur l'approvisionnement en eau et l'assainissement lors de conditions météorologiques extrêmes. Genève: Organisation Mondiale de la Santé; 2011.
Lien	http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/water-and-sanitation/publications/2011/guidance-on-water-supply-and-sanitation-in-extreme-weather-events
Intitulé	Creating Resilient Water Utilities (CRWU) (Créer des Services d'Eau Résilients)
Description	L'initiative des États-Unis intitulée EPA Créer des Services d'Eau Résilients (CRWU) appuie le secteur de l'eau qui comprend les services d'eau potable, d'eaux usées et d'eaux pluviales, à lutter contre les effets des changements climatiques. Grâce au développement d'outils pratiques et faciles à utiliser, l'EPA favorise une compréhension claire des sciences du climat et des options d'adaptation en traduisant des projections climatiques complexes dans des formats accessibles. Ces informations aident les propriétaires et exploitants de services publics à mieux préparer leurs systèmes aux impacts des changements climatiques.
Référentiel	United States Environmental Protection Agency (US EPA): Creating Resilient Water Utilities (CRWU).
Lien	http://water.epa.gov/infrastructure/watersecurity/climate/

Intitulé	Managing climate extremes and disasters in the water sector: lessons from the IPCC SREX report (Gérer les catastrophes climatiques extrêmes dans le secteur de l'eau: enseignements du rapport SREX du GIEC)
Description	<p>Le rapport spécial sur la gestion des risques de conditions extrêmes et de catastrophes pour faire avancer l'adaptation aux changements climatiques (SREX) a été commandée par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) en réponse à un besoin reconnu de fournir des conseils spécifiques sur les changements climatiques, les conditions météorologiques extrêmes et le climat événements («extrêmes climatiques»). Cette note vise à mettre en évidence les principales conclusions thématiques et les enseignements tirés de SREX. Elle propose des mesures immédiates pour éviter de nouveaux dommages dus aux extrêmes climatiques et pour construire un avenir plus résilient avec des avantages qui vont au-delà de la gestion de l'eau. Pour les décideurs et planificateurs du secteur de l'eau, ou même toute personne dont le travail contribue à la gestion de l'eau, ce mémoire devrait susciter la discussion et la compréhension de plusieurs questions :</p> <p>Pourquoi les conditions extrêmes sont-elles un problème critique pour la gestion de l'eau ? Comment le secteur de l'eau est-il affecté par le risque et l'impact des événements extrêmes ? Quelles actions peut-on entreprendre pour gérer ces risques?</p>
Référentiel	Managing climate extremes and disasters in the water sector: lessons from the IPCC SREX report. Climate and Development Knowledge Network; 2012.
Lien	www.cdkn.org/srex
Intitulé	Catastrophes hydro-climatiques dans la gestion des ressources en eau: manuel de formation
Description	L'objectif principal de ce manuel de formation est de renforcer la capacité des gestionnaires de l'eau et autres à développer des stratégies pour faire face aux catastrophes hydro-climatiques telles que les inondations et la sécheresse dans le contexte de la gestion des ressources en eau. Une autre attente est l'amélioration de la résilience des communautés vulnérables et la réduction de l'impact des conditions extrêmes. Le document fournit des informations de base précieuses aux équipes PGSSE qui cherchent à gérer les risques associés aux changements climatiques actuels et futurs.
Référentiel	Hydro-climatic disasters in water resources management: training manual. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs – Headquarters (OCHA), United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Regional Office for Africa (UNISDR AF), International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management (Cap-Net), Nile IWRM Capacity Building Network (Nile IWRM Net); 2009.
Lien	http://www.unisdr.org/we/inform/publications/10358
Intitulé	Adapting urban water systems to climate change (Adapter les systèmes d'approvisionnement d'eau urbaine aux changements climatiques)
Description	<p>Le manuel fournit aux autorités locales et aux services publics des informations à jour ainsi qu'un accès à des ressources et à des exemples de bonnes pratiques. Cela leur permettra de mieux comprendre comment les impacts potentiels du changement climatique affecteront leurs systèmes d'eau urbains et de renforcer leur capacité à développer une stratégie à long terme d'adaptation dans le secteur de l'eau.</p> <p>Le manuel ne vise pas à couvrir tous les aspects liés à l'adaptation ou à présenter un tableau complet des origines et des conséquences des changements climatiques, mais vise plutôt à distiller les aspects les plus pertinents pour la gestion de l'eau en milieu urbain.</p>
Référentiel	Adapting urban water systems to climate change. ICLEI European Secretariat; 2011. Prepared within the framework of the European research project SWITCH (2006 to 2011).
Lien	http://www.switchtraining.eu/home/ and http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Modules/SWITCH_Adaption-Handbook_final_small.pdf

Intitulé	Notes techniques de mises à jour de l'OMS/WEDC sur WASH dans les situations d'urgence
Description	<p>Ces notes illustrées de quatre pages, initialement préparées en 2011 et mises à jour en 2013, fournissent des recommandations pratiques et fondées sur des preuves pour répondre aux besoins immédiats et à moyen terme en eau, assainissement et hygiène des populations touchées par les situations d'urgence.</p> <p>Les notes concernent un grand nombre de situations d'urgence, y compris les catastrophes naturelles et provoquées par les conflits. Elles conviennent aux techniciens de terrain, aux ingénieurs et aux promoteurs d'hygiène, ainsi qu'au personnel du siège de l'agence. Les notes pourraient aider à éclairer l'identification des mesures de contrôle des interventions d'urgence pour soutenir la résilience des systèmes d'approvisionnement en eau pendant les catastrophes naturelles liées au climat.</p>
Référentiel	Updated WHO/WEDC technical notes on WASH in emergencies. World Health Organization and Water Engineering Development Centre; 2013.
Lien	http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/technotes/en/
Intitulé	Global Water Partnership (GWP) Integrated Water Resources Management ToolBox (Partenariat Mondial de l'Eau (GWP) Boîte à Outils de Gestion Intégrée des Ressources en Eau)
Description	La Boîte à Outils de la GIRE est une base de données gratuite et ouverte avec une bibliothèque de documents de base, de notes d'orientation, de notes techniques et de documents de perspective ainsi que de grandes sections d'études de cas et de références. La Boîte à Outils contient également une multitude d'outils pour la gestion de l'eau qui soutiennent l'adaptation aux changements climatiques et est une ressource utile pour ceux qui sont impliqués dans le processus du PGSSSE lorsqu'ils cherchent à acquérir une compréhension plus large de la gestion des ressources en eau et de l'adaptation aux changements climatiques.
Référentiel	Global Water Partnership (GWP) Integrated Water Resources Management ToolBox
Lien	http://www.gwp.org/en/learn/iwrm-toolbox/About_IWRM_ToolBox/
Intitulé	Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report. Working Group II – Chapter 8, Urban areas (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Rapport Cinq d'Evaluation. Groupe de Travail II - Chapitre 8, Zones urbaine)
Description	Ce chapitre se focalise sur ce que nous savons de l'impact potentiel des changements climatiques sur les centres urbains et leurs populations et entreprises, quelles mesures sont prises pour s'adapter à ces changements (et protéger les groupes vulnérables), et quels changements institutionnels et de gouvernance peuvent soutenir l'adaptation. L'approvisionnement en eau est inclus dans cette évaluation et est de façon utile placé dans le contexte des questions plus larges des impacts des changements climatiques dans le contexte urbain.
Référentiel	Revi A, Satterthwaite DE, Aragón-Durand F, Corfee-Morlot J, Kiunsi RBR, Pelling M et al. Zones urbaines. Dans: Changements climatiques 2014: impacts, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de Travail II au Cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE et al., éditeurs). Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis d'Amérique: Presse de l'Université de Cambridge; 2014: 535–612.
Lien	http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

Intitulé	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Rapport Cinq d'Evaluation. Groupe de Travail II - Chapitre 10, Secteurs économiques et services clés
Description	Ce chapitre évalue les implications des changements climatiques pour l'activité économique dans les secteurs et services économiques clés, le bien-être économique et le développement économique, notamment les systèmes d'approvisionnement en eau et les liens avec une variété d'activités économiques liées à l'eau et dépendantes de l'eau.
Référentiel	Arent DJ, Tol RSJ, Faust E, Hella JP, Kumar S, Strzepek KM et al. Secteurs économiques et services clés. Dans: Changements climatiques 2014: impacts, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de Travail II au Cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE et al., éditeurs). Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis d'Amérique: Presse de l'Université de Cambridge; 2014: 659–708.
Lien	http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

Références

1. Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization; 2011.
2. World Health Organization and International Water Association. Water safety plan manual. Geneva: World Health Organization; 2009.
3. World Health Organization and Department for International Development. Vision 2030: the resilience of water supply and sanitation in the face of climate change. Technical report. Geneva: World Health Organization; 2010.
4. Jiménez Cisneros BE, Oki T, Arnell NW, Benito G, Cogley JG, Döll P et al. Freshwater resources. In: Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE et al., editors). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2014:229–69.
5. Summary for policymakers. In: Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J et al., editors). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2013.
6. Summary for policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change special report on managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken D, Ebi KL et al., editors). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2011.
7. Mahmuduzzaman M, Ahmed ZU, Nuruzzaman AKM, Ahmed FRS. Causes of salinity intrusion in coastal belt of Bangladesh. *International Journal of Plant Research*. 2014;4(4A):8–13.
8. Hunter PH. Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology*. 2003;94:37S–46S.
9. Bouzid M, Hooper L, Hunter PR. The effectiveness of public health interventions to reduce the health impact of climate change: a systematic review of systematic reviews. *PLoS ONE*. 2013;8(4):e62041. doi:10.1371/journal.pone.0062041.
10. Third Assessment Report, Annex B: Glossary of terms. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group 2; 2001.
11. Handbook on vulnerability and adaptation assessment. United Nations Framework Convention on Climate Change; 2010.
12. Protecting health from climate change: vulnerability and adaptation assessment. Geneva: World Health Organization; 2013 (<http://www.who.int/globalchange/publications/vulnerability-adaptation/en/>, accessed 20 March 2017).
13. Schewe J et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(9):3245–50.
14. Hirabayashi Y et al. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*. 2013;3(9):816–21.
15. Barros VR et al. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2014.
16. Eisenreich SJ et al., editors. Climate change and the European water dimension. EUR 21553 EN. EC Joint Research Centre; 2005.
17. Middelkoop H et al. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Climatic Change*. 2001;49(1–2):105–28.
18. Padgham J et al. Vulnerability and adaptation to climate change in the semi-arid regions of West Africa. ASSAR Working Paper. Collaborative Adaptation Research Initiative in Africa and Asia (CARIAA); 2014.

19. Flood risk assessments: climate change allowances. Environment Agency; 2016 (<https://www.gov.uk/guidance/flood-risk-assessments-climate-change-allowances>, accessed 20 March 2017).
20. Melillo JM, Richmond TC, Yohe GW. Climate change impacts in the United States. Third National Climate Assessment, 2014 (<http://nca2014.globalchange.gov>, accessed 20 March 2017).
21. Climate change vulnerability assessments: four case studies of water utility practices. EPA/600/R-10/07. United States Environmental Protection Agency; 2011 (<https://cfpub.epa.gov/ncea/global/recordisplay.cfm?deid=233808>, accessed 20 March 2017).
22. Vulnerability to climate change related water resource changes and extreme hydrological events in Southeast Asia. Bangkok, Thailand: START; 2006 (http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_AS07.pdf, accessed 20 March 2017).
23. Glossary. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ et al., editors. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2014.
24. WHO operational framework to build climate-resilient health systems. Geneva: World Health Organization; 2015.
25. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. Third United Nations World Conference on Disaster Risk Reduction, Sendai, Japan, 18 March 2015 (http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf, accessed 20 March 2017).
26. Sadoff C, Muller M. Water management, water security and climate change adaptation: early impacts and essential responses. TEC Background Paper No. 14. 2009 (<http://www.evidenceondemand.info/water-management-water-security-and-climate-change-adaptation-early-impacts-and-essential-responses>, accessed 7 April 2017).
27. Gleick PH. Not a drop to drink: National Geographic investigates. Washington (DC): National Geographic Society; 2008.
28. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva: World Health Organization; 2006 (http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/wastewater-guidelines/en/, accessed 7 April 2017).
29. Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta. Geneva: World Health Organization; 2015 (http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/en/, accessed 7 April 2017).
30. Ranger N. Adaptation: decision making under uncertainty. Evidence on Demand Topic Guide. 2013. doi:10.12774/eod_tg02.june2013.ranger.
31. Updated WHO/WEDC technical notes on WASH in emergencies. World Health Organization and Water Engineering Development Centre; 2013 (http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/technotes/en/, accessed 21 March 2017).

Annexe 1. Pays-Bas

Étude de cas : impacts des changements climatiques potentiels sur la fonction d'eau potable du Rhin et de la Meuse

Contexte

Le Rhin et la Meuse sont une source importante d'eau potable aux Pays-Bas, contribuant à environ 40 % de l'approvisionnement total en eau potable, les 60 % restants provenant des eaux souterraines (1). La plupart des stations de prise d'eau le long du Rhin et de la Meuse sont situées dans la partie centrale du pays (figure A1.1). Après la prise, l'eau est prétraitée puis pompée vers les dunes, où l'eau est artificiellement infiltrée et purifiée. Après un temps de séjour de deux mois, l'eau est pompée à nouveau pour un traitement final en eau potable. La purification directe de l'eau de fleuve en eau potable se fait dans une station de prise d'eau sur la Meuse (avec de grands bassins de stockage) et une station de prise d'eau le long du lac IJssel (figure A1.1).

En 2014, la « Société Royale de Météorologie des Pays-Bas » (KNMI) a publié quatre scénarios de changements climatiques pour les Pays-Bas (2). En général, des étés plus chauds sont prévus, mais les précipitations estivales peuvent augmenter ou diminuer, selon le scénario. Le scénario le plus critique en ce qui concerne la disponibilité de l'eau est le scénario W_{H_1} , avec une augmentation prévue de la température moyenne estivale (JJA) de 2,3 °C, une diminution moyenne des précipitations estivales de 13 % et une augmentation de l'évapotranspiration potentielle de 11 % pendant l'été en 2050 (tous ces changements sont liés au climat actuel, c'est-à-dire à la période 1981-2010). Ce scénario se traduirait par des sécheresses et des vagues de chaleur graves plus fréquentes aux Pays-Bas, avec des conséquences importantes sur la quantité et la qualité de l'eau.

Zwolsman et Van Bokhoven (3) et Van Vliet et Zwolsman (4) ont étudié l'impact des faibles débits fluviaux et des canicules sur la qualité de l'eau du Rhin et de la Meuse aux Pays-Bas, et les conséquences sur la production d'eau potable. Les impacts des canicules et des faibles débits fluviaux ont été étudiés en comparant systématiquement la qualité de l'eau pendant les années de canicules et de sécheresses hydrologiques (c'est-à-dire 1976 et 2003) à celle des années de référence avec des débits fluviaux moyens et une répartition des

Figure A1. 1. Eau de boisson aux Pays-Bas: sources et consommateurs



Remarque : Les stations de prise d'eau fluviale pour la production d'eau potable aux Pays-Bas sont indiquées par des cercles verts; les cercles bleus indiquent les dunes côtières où l'eau de la rivière est infiltrée, pompée et post-traitée

températures plus importants (tableau A1.1). Les données sur la qualité de l'eau ont été tirées d'une vaste base de données sur la qualité des eaux de surface aux Pays-Bas (<http://live.waterbase.nl>), provenant du programme national de suivi de la qualité de l'eau.

Tableau A1.1. Débits mensuels moyens du Rhin et de la Meuse enregistrés à la frontière avec l'Allemagne et la Belgique, 2002-2004 (montrant la sécheresse hydrologique de juillet à décembre 2003)

	Rhin (Station frontalière Lobith): Q (m ³ /s)			Meuse (Borgharen, 15 km de la frontière): Q (m ³ /s)		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Avril	2152	1540	1774	198	93	132
Mai	2712	1764	2064	172	133	136
Juin	2195	1658	2052	70	62	39
Juillet	1963	1251	1696	51	27	38
Août	2113	1013	1536	69	17	86
Septembre	1787	936	1495	36	13	62
Octobre	2415	1266	1537	97	17	53
Novembre	4845	1160	1978	560	26	125
Décembre	3301	1425	1685	389	110	191

En outre, Sjerps, Zwolsman et ter Laak (5) ont étudié l'effet des changements climatiques sur les concentrations de produits pharmaceutiques dans le Rhin et la Meuse, en se basant sur les données de surveillance et les rejets des années 2010 et 2011 et sur les scénarios climatiques du KNMI. En comparant la qualité de l'eau pendant les années sèches à celle des années plus moyennes, plusieurs impacts des sécheresses et des canicules sur la qualité de l'eau des rivières ont pu être identifiés :

- L'augmentation de la température de l'eau ;
- L'augmentation du potentiel d'eutrophisation ;
- Moins de dilution des émissions de sources ponctuelles ;
- La salinisation des tronçons de rivières (à marée).

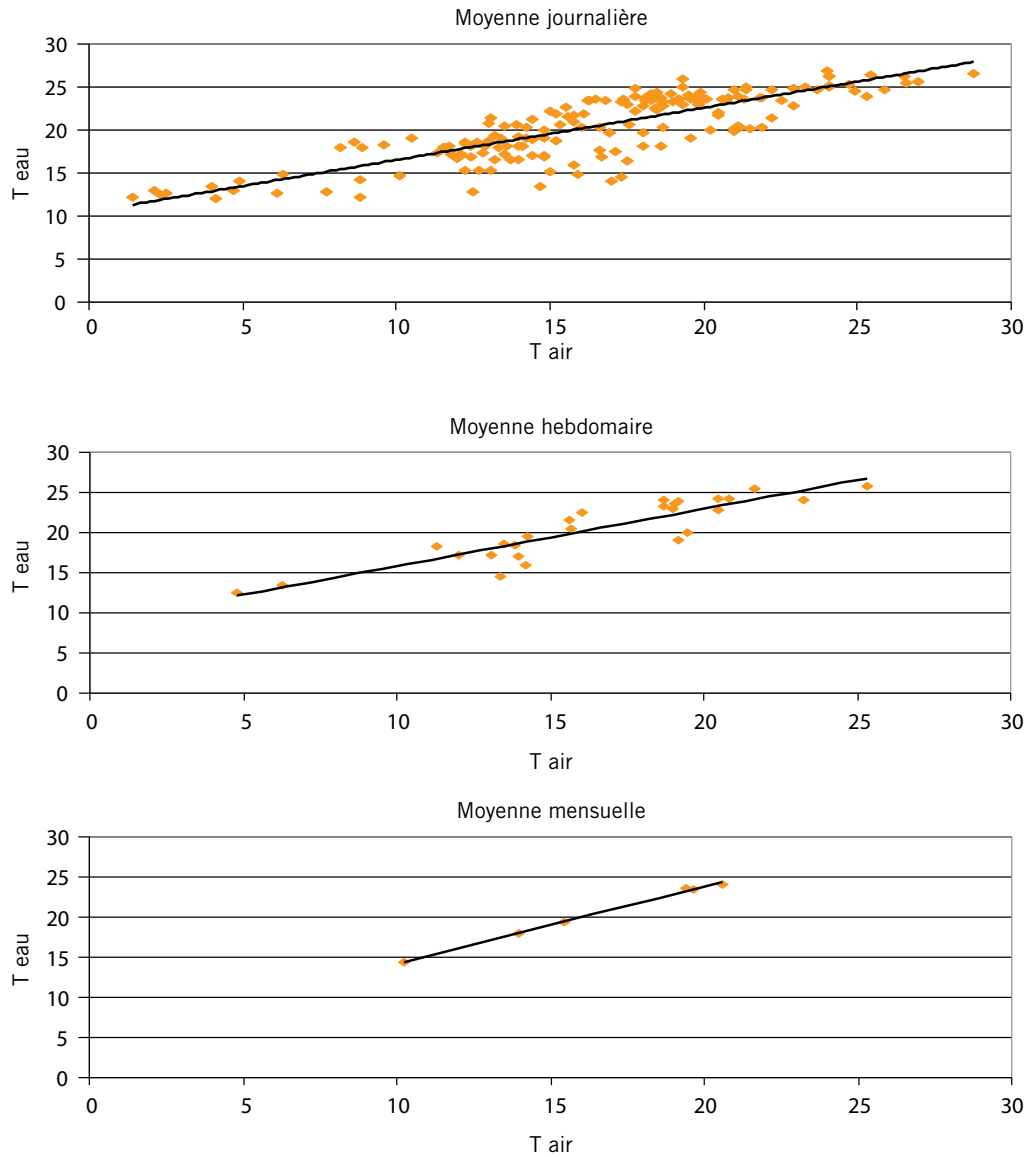
Ces impacts sont décrits plus en détail ci-dessous.

Impact des changements climatiques sur la température de l'eau des fleuves

La température de l'eau de surface suit de près la température de l'air, tant à court terme (quotidien) qu'à long terme (mensuel). À titre d'exemple, la figure A1.2 montre la relation entre la température de la Meuse et la température de l'air ; des résultats similaires ont été obtenus pour le Rhin (non illustré). Cela signifie que les futures températures de l'eau aux Pays-Bas seront sérieusement et de manière prévisible affectées par les changements climatiques.

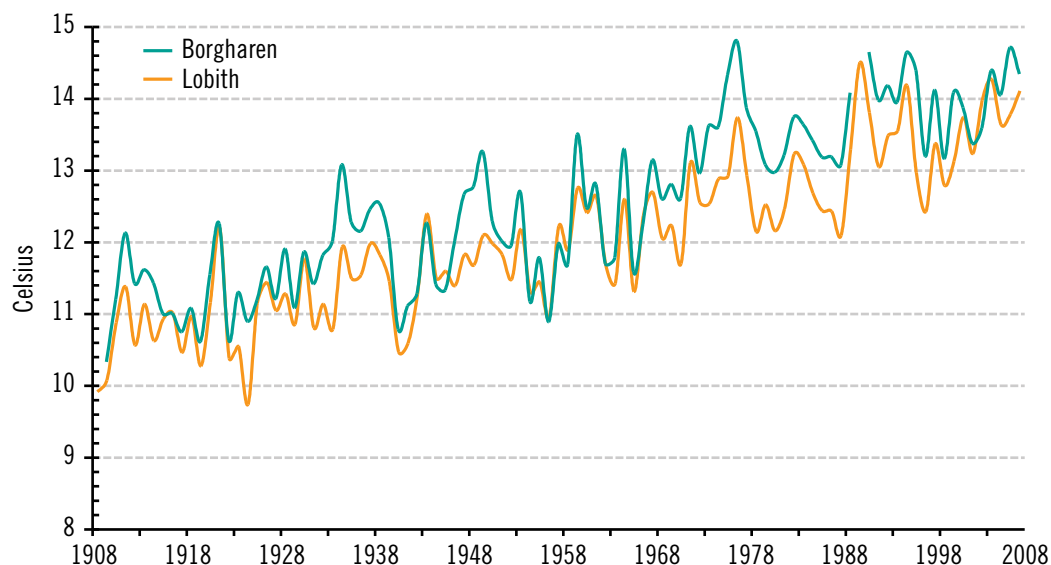
La température de l'eau du Rhin pendant les étés secs et chauds de 1976 et 2003 est nettement plus élevée que pendant les étés de référence 1975/1977 et 2002/2004, respectivement. L'augmentation de la température par rapport aux étés de référence s'est élevée à 1,4-1,8°C en été 1976 (JJA) et à 1,4-1,6°C en été 2003 (3). Dans la Meuse, Van Vliet et Zwolsman (4) ont constaté que la température de l'eau pendant l'été sec et chaud de 2003 (JJA) était en moyenne de 2°C supérieure à la température de référence de l'été 2002 et 2004.

Figure A1.2. Corrélation entre la température de l'eau du fleuve et la température de l'air dans la Meuse à la frontière entre les Pays-Bas et la Belgique, sur la base de moyennes journalières, hebdomadaires et mensuelles (données d'avril à septembre 2003)



En plus de cette variabilité interannuelle, une tendance distincte à long terme d'augmentation de la température de l'eau des rivières est apparue au cours des 100 dernières années. Au cours du siècle dernier, une augmentation de la température annuelle moyenne de l'eau de 4°C (!) a été observée, tant dans le Rhin que dans la Meuse (figure A1.3). Environ deux tiers de cette tendance est due à une augmentation des rejets d'eau de refroidissement (centrales électriques et grandes usines chimiques), tandis qu'un tiers peut être attribué à une augmentation de la température moyenne de l'air au cours du siècle dernier (c'est-à-dire en raison du changement climatique).

Figure A1.3. Augmentation de la température annuelle moyenne de l'eau du Rhin au cours du 20^e siècle



Remarque : Station Lobith = Rhin à la frontière germano-néerlandaise ; station Borgharen = Meuse, 15 km en aval de la frontière belgo-néerlandaise.

L'augmentation à long terme de la température de l'eau est d'une importance majeure car elle affecte la capacité du fleuve à faire face aux impacts du changement climatique. Par exemple, pendant la canicule d'août 2003, la température de l'eau a souvent dépassé le seuil écologique et de production d'eau potable de 25°C, alors que pendant la canicule (plus forte) de 1976, cela a rarement été le cas (3). Lors de la canicule de juillet 2006, une température record de l'eau de 28,0 °C a été enregistrée, aussi bien dans la Meuse que dans le Rhin. Ces températures élevées constituent une menace directe pour l'écologie aquatique du fleuve et entraînent des problèmes connexes pour la production d'eau potable (voir section suivante). On peut conclure que l'utilisation croissante des deux fleuves à des fins de refroidissement a sérieusement affecté leur capacité à faire face aux impacts croissants du changement climatique.

Impact des canicules sur l'eutrophisation

Le faible débit des rivières, combiné à la température élevée de l'eau, crée des conditions idéales pour l'eutrophisation. Les figures A1.4 et A1.5, qui représentent la canicule de juillet 2006 aux Pays-Bas (la plus forte enregistrée au cours des 300 dernières années), donnent un exemple typique de prolifération d'algues et de son impact sur la qualité générale de l'eau. Les concentrations de chlorophylle-a atteignent leur maximum pendant la canicule, mais surtout, les proliférations d'algues ont un impact important sur la qualité de l'eau, en termes d'oxygène dissous et de pH, et donc sur l'état écologique du fleuve. L'oxygène dissous et le pH présentent des oscillations jour-nuit, dues à la dynamique de la production primaire pendant la journée (consommation de CO₂, production d'oxygène) et au processus inverse (respiration) pendant la nuit. Cela conduit à une fluctuation spectaculaire de l'oxygène dissous, qui diminue à 2 mg/L pendant la nuit, et augmente jusqu'à 16 mg/L pendant la journée. Il est évident qu'une telle variation de l'oxygène dissous provoque un stress important pour l'écologie aquatique, en particulier pour les organismes sessiles (benthos), qui ne peuvent pas échapper à ces conditions stressantes.

Outre l'impact sur l'écologie aquatique, la prolifération d'algues pose un défi à la production d'eau potable. Les algues doivent être éliminées par floculation et filtration sur sable, tandis qu'un traitement supplémentaire au charbon actif peut être nécessaire pour éliminer le goût et les odeurs associés à l'eau (par exemple géosmine, 2-méthylisobornéol). Pour réduire l'impact des vagues de chaleur et des faibles débits des rivières sur le potentiel d'eutrophisation des systèmes fluviaux, des programmes de réduction des nutriments dans le bassin hydrographique peuvent être nécessaires.

Figure A1.4. Concentration de chlorophylle-a ($\mu\text{g/L}$) dans le Rhin (station frontalière de Lobith) et la Meuse (station frontalière d'Eijsden) de juin à août 2006

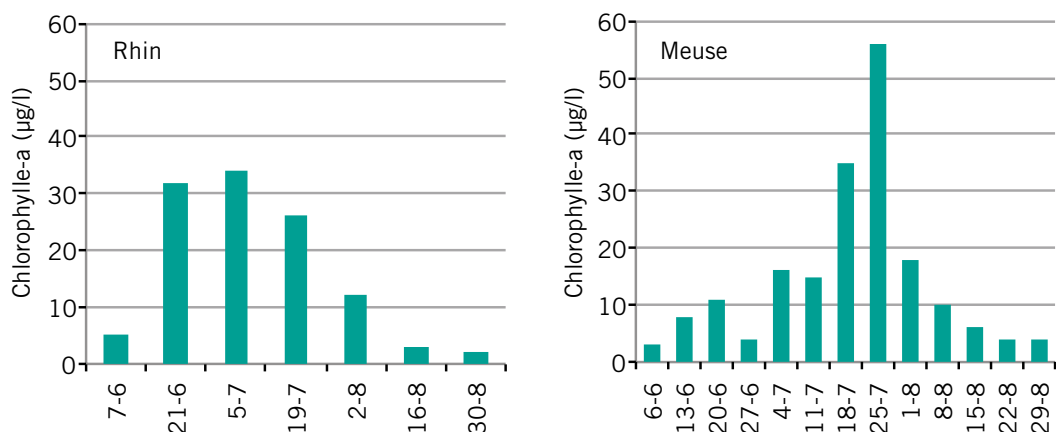
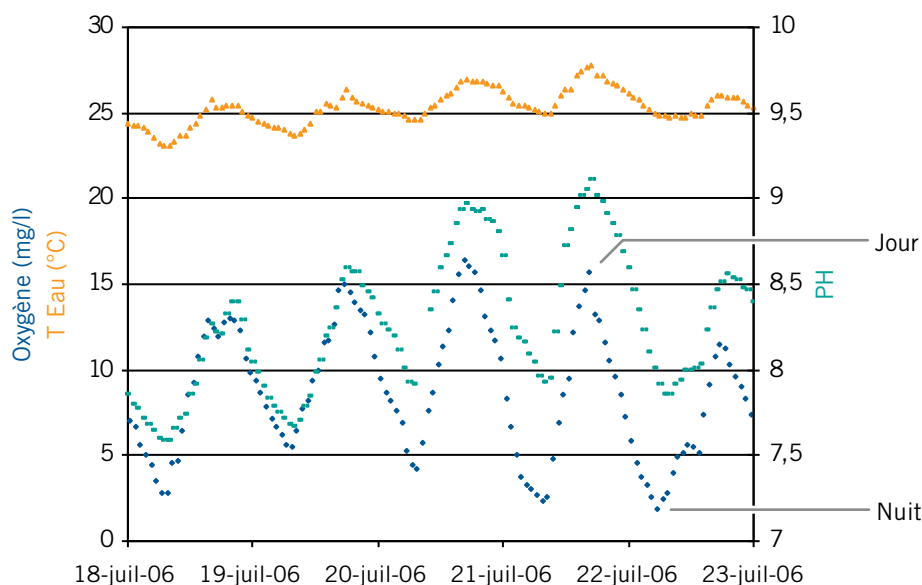


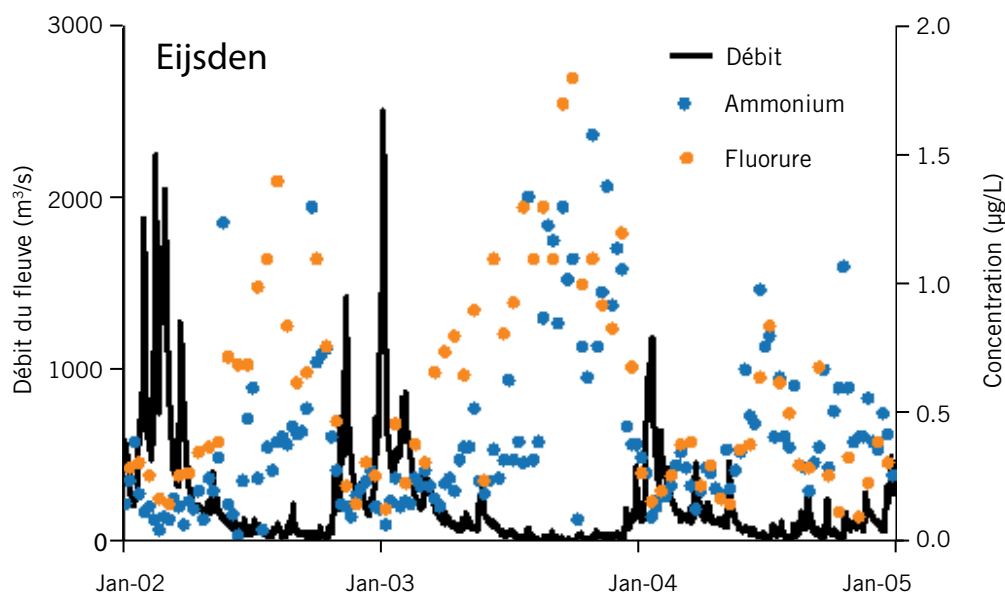
Figure A1.5. Cycle jour-nuit de la température de l'eau (orange), de l'oxygène dissous (bleu) et du pH (vert) dans la Meuse (station frontalière d'Eijsden) pendant la canicule de juillet 2006



Impact des sécheresses sur la qualité de l'eau des cours d'eau

L'impact des sécheresses hydrologiques sur la capacité de dilution et la qualité de l'eau du Rhin et de la Meuse a été largement étudié par KWR (1, 3-5). Ces études sont essentiellement basées sur des données réelles de qualité de l'eau (par opposition aux projections du modèle) obtenues pendant les étés secs et par rapport à la qualité de l'eau des étés de référence avec des conditions hydrologiques moyennes. En général, on constate que la qualité de l'eau est négativement influencée par les sécheresses pour des paramètres tels que les ions majeurs (par exemple, le chlorure, le sodium, le calcium), les nutriments, les métaux traces et les micropolluants organiques. Un exemple est donné pour l'ammonium et le fluorure dans la Meuse (figure A1.6).

Figure A1.6. Débit fluvial, concentration d'ammonium et de fluorure dans la Meuse (station d'Eijsden = frontière Pays-Bas-Belgique) en 2002-2004 (noter l'influence des faibles débits fluviaux sur la qualité des eaux fluviales)



La baisse de la qualité de l'eau pendant les sécheresses est liée à la dilution limitée des émissions de sources ponctuelles, telles que les stations d'épuration communales et industrielles. Il convient de noter que si les sources de polluants sont principalement d'origine diffuse, alors la charge chimique dépend de la quantité et de l'intensité des précipitations dans le bassin versant ; par conséquent, la charge chimique des sources non ponctuelles peut diminuer pendant les sécheresses, comme l'expliquent et le mentionnent Zwolsman et Van Bokhoven (3). C'est le cas du nitrate dans le Rhin, où la source de pollution est dominée par des sources diffuses (lixiviation du sol) plutôt que par des activités de sources ponctuelles. Par conséquent, les concentrations de nitrates dans l'eau du fleuve sont assez invariables pour un large éventail de rejets, car la charge chimique et la capacité de dilution se comportent de manière opposée par rapport au débit du fleuve, ce qui équilibre leurs impacts.

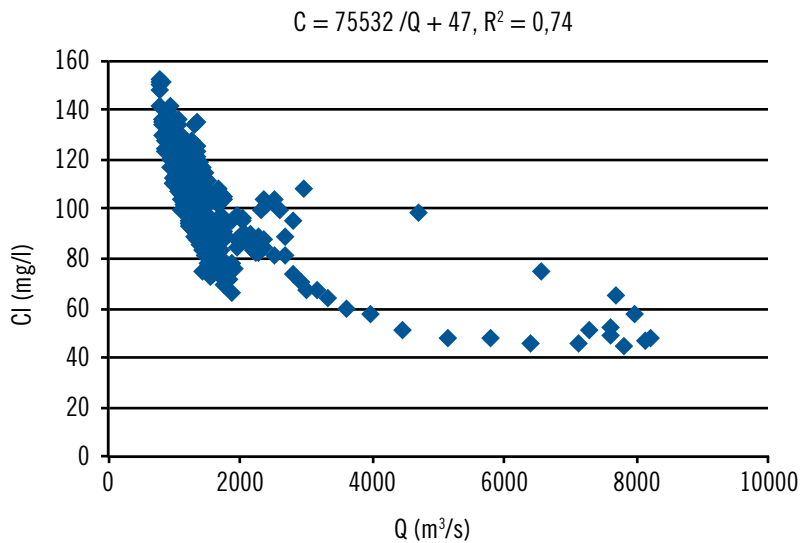
Pour ce qui est de l'eau potable, la concentration de chlorure et de bromure dans le Rhin est importante, surtout lorsque le débit du fleuve est faible. L'impact du débit du fleuve sur la concentration de chlorure dans le Rhin est illustré à la figure A1.7. L'ensemble de données, basé sur les mesures quotidiennes en 2011, peut être décrit par une simple équation de dilution :

$$C = a/Q + b$$

Où C = concentration de chlorure (mg/L), a = charge de chlorure (g/s), Q = débit du cours d'eau (m³/s) et b = concentration naturelle de chlorure (mg/L).

La charge actuelle de chlorure (estimée à partir de la figure A1.7) est de 75 kg/s et la concentration naturelle est de 47 mg/L. À partir de cette relation C-Q, on peut calculer que si le débit de la rivière descend en dessous de 730 m³/s, le chlorure dépassera la norme néerlandaise pour l'eau potable de 150 mg/L (en supposant une charge de chlorure constante dans le système). Des débits fluviaux aussi faibles sont en effet prévus à l'avenir dans le cadre du scénario climatique W_H (6).

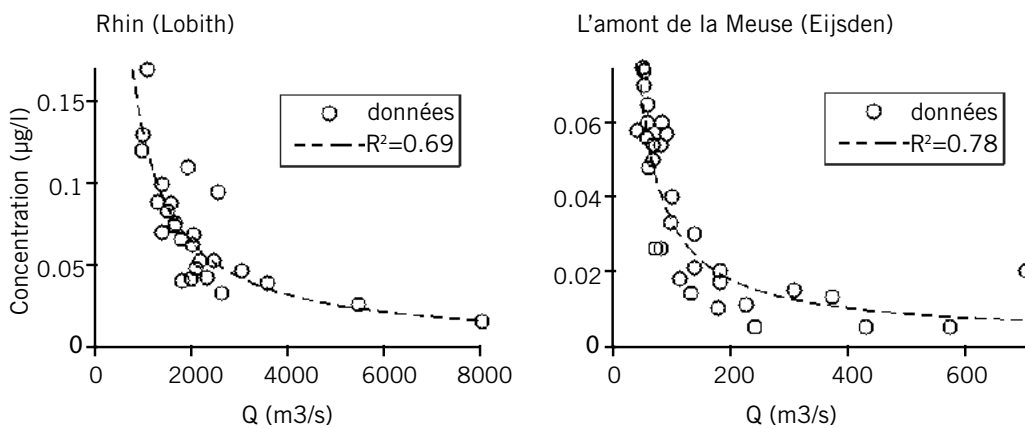
Figure A1.7. Impact du débit du fleuve sur la concentration de chlorure dans le Rhin, station Lobith (à noter que la norme néerlandaise pour l'eau potable (150 mg/L) est atteinte lorsque le débit du fleuve est faible) ; ensemble de données à partir de 2011



En règle générale, la concentration en bromure du Rhin passe de 100 µg/l en cas de débit moyen à 300 µg/l en cas de faible débit (3). L'augmentation de la concentration de bromure pendant les périodes de faible débit est importante si l'ozone est utilisé dans le processus de traitement de l'eau, car cela augmentera la formation de bromate (cancérogène) pendant l'ozonation. Si seule une petite fraction du bromure est convertie en bromate pendant l'ozonation, la norme néerlandaise pour l'eau potable pour le bromate (5 µg/L) sera déjà dépassée.

Les produits pharmaceutiques sont rejetés dans les eaux de surface par les stations d'épuration des eaux usées à une charge plus ou moins constante. On prévoit donc une relation inverse entre la concentration de nombreux produits pharmaceutiques et le débit des rivières. Sjerps, Zwolsman et ter Laak (5) ont utilisé des données de surveillance récentes pour prévoir les futures concentrations de produits pharmaceutiques dans le Rhin et la Meuse selon différents scénarios climatiques. Les données ont été sélectionnées pour l'année 2011, caractérisée par une période prolongée de faible débit, avec l'année 2010 comme période de référence. Pour diverses substances, la concentration pourrait être $c = \frac{a}{Q} + b$, comme pour le chlorure. Un exemple typique est présenté à la figure A1.8 pour la carbamazépine dans le Rhin et la Meuse.

Figure A1.8. Relation entre le débit du fleuve et la concentration de carbamazépine dans le Rhin (station Lobith) et la Meuse (station Eijsden) en 2010/2011



Source: Sjerps, Zwolsman et ter Laak (5).

Sjerps, Zwolsman et ter Laak (5) ont utilisé ces relations Q-C pour étudier l'effet de la variabilité hydrologique (c'est-à-dire les années sèches et les années humides) et du changement climatique sur la qualité de l'eau du Rhin et de la Meuse en l'an 2050. Ces deux facteurs semblent avoir une influence significative sur la qualité de l'eau. L'impact d'une année hydrologique très sèche (1976) sur les concentrations chimiques peut varier d'un facteur de 1,5 dans le Rhin jusqu'à un facteur de 2 dans la Meuse (par rapport à une année hydrologique moyenne, comme 1967). L'impact du changement climatique sur la qualité de l'eau est du même ordre de grandeur. Lorsque ces deux impacts sont combinés, les concentrations de produits pharmaceutiques dans la Meuse devraient augmenter d'un facteur de 3 à 4 au cours d'une année très sèche selon le scénario de changement climatique rapide (W_H), par rapport à une année hydrologique normale dans le climat actuel. Dans le Rhin, les concentrations pourraient augmenter d'un facteur de 2 à 3.

Comme la Meuse est un fleuve pluvial typique et que son bassin versant est relativement petit (10 fois plus petit que celui du Rhin), l'effet combiné d'une année sèche et du changement climatique a un impact plus important sur la qualité de l'eau de la Meuse par rapport au Rhin. Par exemple, les concentrations projetées d'AMPA (métabolite de l'herbicide glyphosate) dans la Meuse augmentent jusqu'à 10 µg/L dans le scénario WH ; tandis que les concentrations d'AMPA dans le Rhin restent inférieures à la norme d'absorption d'eau potable de 1 µg/L. Tant que le Rhin est alimenté par les eaux de fonte des Alpes pendant les périodes de sécheresse (7), le débit ne diminuera pas aussi fortement par rapport à la Meuse, qui est uniquement alimentée par les eaux de pluie.

La baisse potentielle de la qualité future de l'eau des cours d'eau due au changement climatique constitue un risque pour la production d'eau potable aux Pays-Bas. Toutefois, des mesures sont en cours pour améliorer l'efficacité du traitement des eaux usées en ce qui concerne les produits pharmaceutiques. Un post-traitement efficace (ozonation et charbon actif) a déjà été mis en place dans de grandes stations d'épuration en Allemagne et en Suisse. Il est probable que les Pays-Bas suivront cet exemple dans les années à venir.

La salinisation

Zwolsman (1) a noté que la salinisation devrait augmenter aux Pays-Bas pour deux raisons. Premièrement, l'élévation du niveau de la mer pourrait entraîner une remontée de l'eau de mer dans les aquifères côtiers, menaçant l'utilisation de ces aquifères pour l'approvisionnement en eau potable. Deuxièmement, les faibles débits du Rhin permettent à l'eau de mer de s'infiltrer plus à l'intérieur des terres, en particulier pendant les périodes de vents du nord-ouest ou de marées de printemps, ce qui entraîne des niveaux d'eau de mer élevés près des côtes. Dans des conditions hydrologiques normales, l'eau de mer pénètre par l'estuaire du Rhin (la "Nieuwe Waterweg") jusqu'à la ville de Rotterdam (figure A1.9). Cependant, dans des conditions défavorables - c'est-à-dire lorsque le débit du fleuve est faible et le niveau de l'eau de mer élevé - l'eau de mer peut s'infiltrer plus en amont dans les branches du fleuve utilisées pour l'irrigation (Hollandsche IJssel) ou la production d'eau potable (Lek).

La salinisation des bras de marée d'eau douce du Rhin se produit généralement lorsque le faible débit du fleuve coïncide avec le niveau élevé de l'eau de mer à l'embouchure de l'estuaire. Étant donné la probabilité que les vents du nord-ouest et les faibles débits fluviaux coïncident, le risque de salinisation est le plus élevé au cours du quatrième trimestre de l'année. Un exemple de salinisation de l'embouchure du Lek pendant la sécheresse de juillet-novembre 2003 est présenté à la figure A1.10.

Figure A1.9. L'estuaire du Rhin (Nieuwe Waterweg + Nieuwe Maas), y compris les bras d'eau douce de marée Hollandsche IJssel et Lek (cercle bleu)

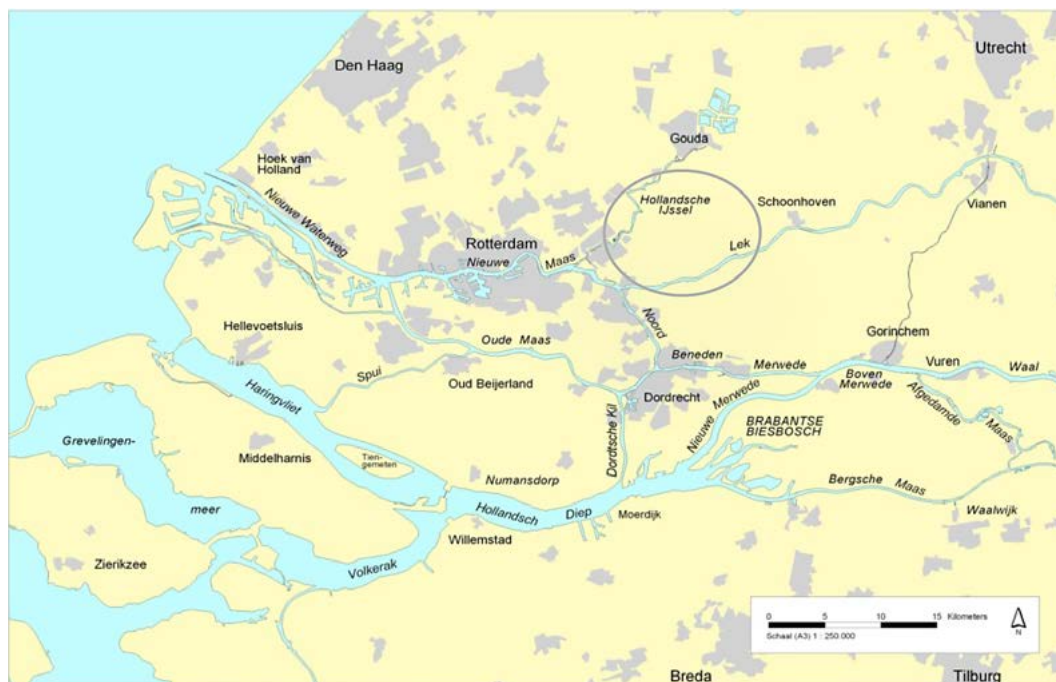
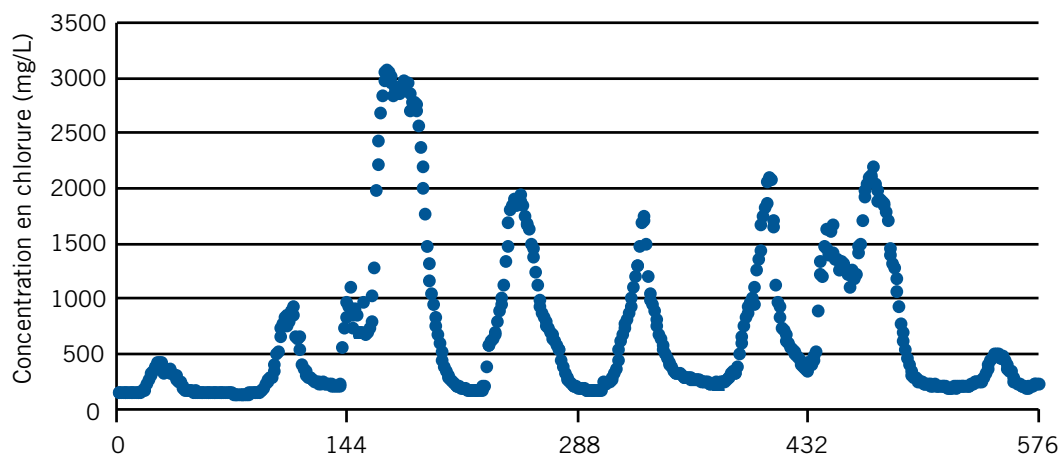


Figure A1.10. Salinisation de l'estuaire du Rhin (branches Nieuwe Maas et Lek) pendant la sécheresse de 2003



La salinisation affecte de plus en plus la fonction de l'eau potable de la rivière Lek. Près de l'embouchure de la Lek, l'eau de la rivière est extraite par filtration sur les berges. Il a été constaté que la salinité des eaux souterraines pompées le long de la Lek augmente progressivement, en raison des intrusions d'eau de mer passées. Étant donné qu'un plus grand nombre de ces événements sont prévus à l'avenir en raison du changement climatique, la compagnie des eaux locale a décidé d'étendre le traitement actuel de l'eau aux trois sites de production les plus en aval en y ajoutant une étape de dessalement. En conséquence, les coûts de traitement augmenteront à l'avenir.

Résilience du système au changement

Il ressort des études menées aux Pays-Bas que des trajectoires générales peuvent être établies pour les cours d'eau sous l'impact du changement climatique. La qualité de l'eau des cours d'eau dont les débits sont généralement faibles en été et dont l'apport de polluants par des sources ponctuelles est prédominant, comme la Meuse (4), sera probablement plus sensible aux conditions de sécheresse en raison de la dilution limitée des cours d'eau et des températures élevées de l'eau. En revanche, les cours d'eau dont le débit estival est relativement élevé (par exemple les ceux alimentées par la fonte des neiges) ont peu de chances de connaître le même degré d'impact. Par exemple, les effets des sécheresses sur la qualité de l'eau du Rhin étaient beaucoup moins importants que ceux observés dans la Meuse (3, 5). En fait, la qualité de l'eau des cours d'eau où la contribution relative des sources de pollution diffuses est élevée pourrait être stable, voire s'améliorer, pendant les sécheresses, en raison de la diminution de l'apport de polluants par le lessivage des sols et le ruissellement.

La capacité d'un système fluvial à faire face aux changements associés au changement climatique sera fonction de la résilience des écosystèmes. Des études sur le Rhin et la Meuse ont montré que l'impact des sécheresses sur la qualité de l'eau sera plus important lorsque la qualité de l'eau est déjà mauvaise. Ainsi, la réduction des rejets de pollution dans le Rhin et la Meuse augmentera la résilience de ces fleuves au changement climatique futur. Si l'on ne s'attaque pas au changement climatique, les problèmes historiques de qualité de l'eau pourraient redevenir importants à l'avenir.

Annex 1 references

1. Zwolsman JJG. Climate robustness of drinking water supply in the Netherlands based on surface water. Report KWR 08.070. The Netherlands: KWR; 2008.
2. Van den Hurk B, Siegmund P, Klein Tank A., editors. 2014. Climate change scenarios for the 21st century: a Netherlands perspective. KNMI Scientific Report WR 2014-01. KNMI; 2014 [in Dutch; English summary at www.knmi.nl].
3. Zwolsman JJG, Van Bokhoven AJ. Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River. *Water Science and Technology*. 2007;56(4):45-55.
4. Van Vliet MTH, and Zwolsman JJG. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse River. *Journal of Hydrology*. 2008;353:1-17.
5. Sjerps et al. 2017. Projected impact of climate change and chemical emissions on the water quality of the European rivers Rhine and Meuse: A drinking water perspective Article reference: STOTEN22972 Journal title: *Science of the Total Environment* Corresponding author: Ms. Rosa M.A. Sjerps First author: Dr. Rosa M.A. Sjerps Final version published online: 10-Jun-2017 DOI information: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.250 https://authors.elsevier.com/a/1VBdC_17GgGh6U
6. Klijn F, Hegnauer M, Beersma J, Sperna Weiland F. What do the new climate scenarios imply for the river discharges of the Rhine and the Meuse? Report 1220042-004. Deltares/KNMI; 2015 [in Dutch].
7. Swaiger K. Alps: the water towers of Europe. Innsbruck University Press; 2007.

Annexe 2. Australie

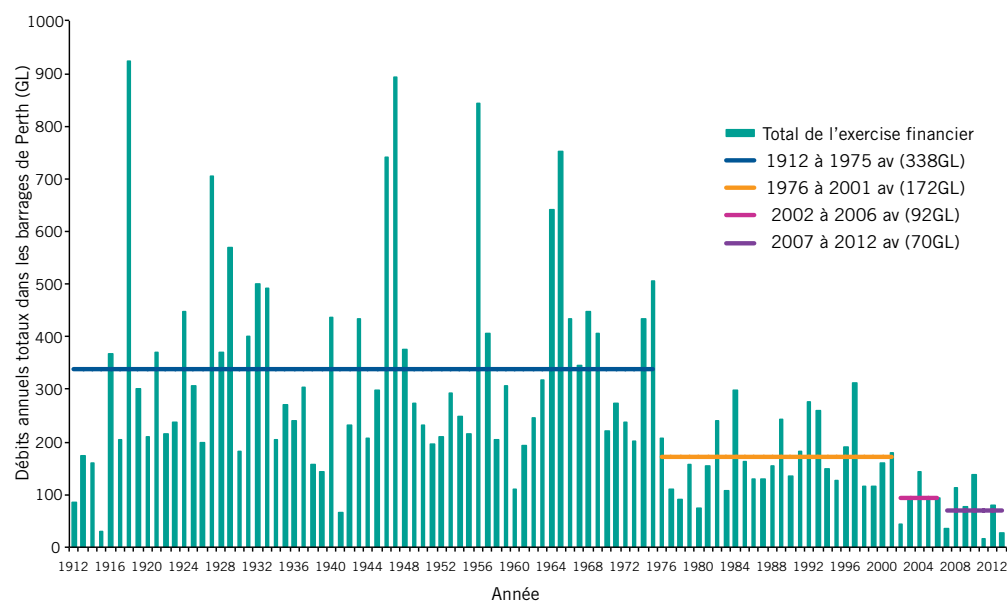
Étude de cas : Plans de sécurité de l'eau pour la gestion des risques d'une source d'eau supplémentaire à l'Ouest de l'Australie

Contexte

La Water Corporation est le principal fournisseur d'eau en Australie occidentale. Elle étudie les effets du changement climatique sur la qualité de l'eau depuis de nombreuses années et est réputée pour son excellente planification de l'eau et sa réaction à ces changements. Cette étude de cas décrit l'expérience de la Water Corporation en matière de qualité et de sécurité de l'eau potable et souligne les enseignements utiles pour les autres fournisseurs qui pourraient être confrontés à des problèmes similaires à l'avenir.

En Australie occidentale, la diminution des précipitations a eu un impact négatif considérable sur de nombreuses sources d'eau de surface et d'eau souterraine de l'État. Cela est clairement démontré dans la figure A2.1, où une diminution de 12 % des précipitations a entraîné une réduction de 50 % du débit des sources d'eau de surface de la Water Corporation. Le sud-ouest de l'Australie occidentale est une région qui a été gravement touchée par le changement climatique et la réduction des précipitations, de manière significative au cours des dix dernières années.

Figure A2.1. Diminution des apports aux barrages de retenue pour Perth en Australie occidentale



Remarque : Les périodes sont les exercices financiers de juillet à juin, et sont étiquetées comme des exercices financiers prenant fin. Les débits sont simulés pour les périodes précédant la construction de certains des barrages.
Source: Water Corporation, 2013.

Des évaluations de risques ont été réalisées à différents moments au fur et à mesure que la connaissance, la compréhension et la sensibilisation aux risques liés à la qualité de l'eau et aux bassins versants se sont accrues. Suite à l'élaboration du concept de plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau de l'OMS (1) et au développement du cadre australien pour la gestion de la qualité de l'eau potable, le processus de planification de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau à la Water Corporation a commencé en 2004, la rivière Margaret étant l'un des premiers projets évalués.

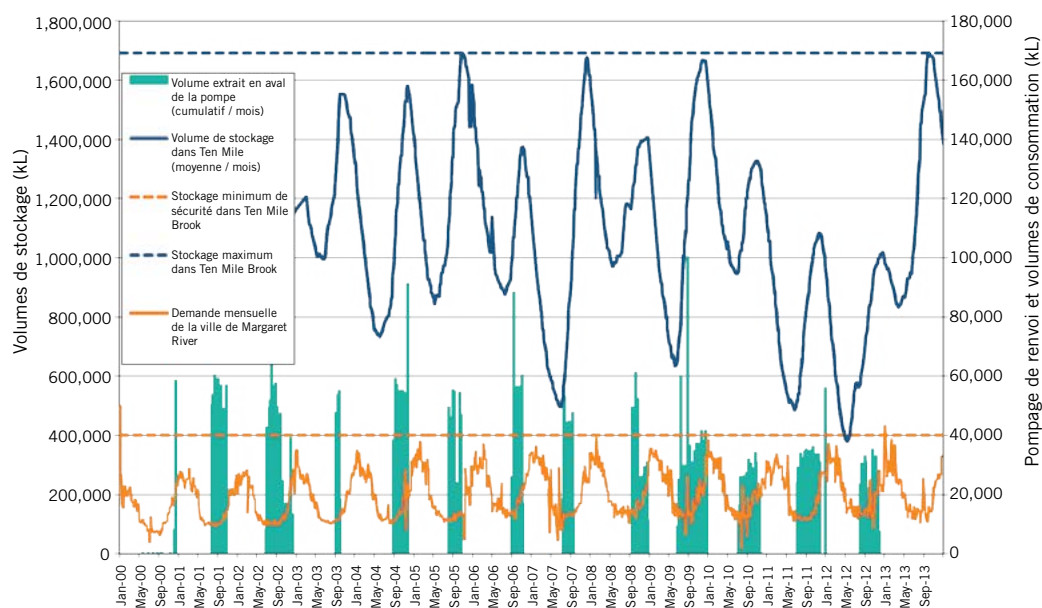
Dispositif de la Margaret River

Située à environ 280 km au sud de Perth, la Margaret River a une population permanente de plus de 10 000 habitants, avec environ 500 000 visiteurs par an. La région connaît un climat de type méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers frais et humides. Les précipitations annuelles varient entre 900 mm et 1100 mm dans les zones des bassins versants. Ce climat tempéré a permis à la Margaret River de devenir l'une des principales régions viticoles d'Australie. Avec une population résidentielle croissante et un tourisme en expansion, la Water Corporation a investi des ressources importantes pour assurer un approvisionnement en eau potable sûr et fiable à la ville.

La principale source de la Margaret River est le barrage de Ten Mile Brook, construit sur un affluent de la Margaret River principale. Lorsque le Ten Mile Brook Dam a été mis en service en 1994, il était prévu que cette source d'eau de surface de 1700 millions de litres puisse alimenter la Margaret River pendant plus de 20 ans. Avec l'impact des conditions de faible ruissellement, le rendement du bassin versant du Ten Mile Brook est estimé à environ 650 millions de litres par an, en fonction des précipitations. Ainsi, alors que le barrage de Ten Mile Brook est considéré comme une source d'eau de bonne qualité, la modification des débits entrants fait que cet approvisionnement en eau est considéré comme très vulnérable.

L'approvisionnement de la ville de Margaret River est devenu problématique au début des années 2000 suite à des hivers consécutifs à faible pluviométrie. Il a donc été décidé de compléter le barrage de Ten Mile Brook en utilisant un système de pompage du barrage de la Margaret River, qui avait une classification de risque élevé de pathogènes à la source. La figure A2.2 montre la demande, les niveaux de stockage et le fonctionnement du pompage de la Margaret River depuis 2000.

Figure A2.2. Niveaux de pompage, de demande et de stockage de la Margaret River 2000–2013



Élaboration de plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau

En 2004, la Water Corporation a commencé à élaborer des plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau pour ses 245 localités d'approvisionnement. Compte tenu de ce nombre considérable d'approvisionnements, la priorité a été accordée aux dispositifs considérés comme "à haut risque" pour la qualité de l'eau. Le projet de la Margaret River a été l'un des premiers à être examiné en raison du taux élevé de pompage du barrage de la Margaret River et du niveau de risque élevé de la source.

Dans le cadre du processus de planification de la sécurité de l'eau, les sources sont examinées et classées dans l'une des cinq catégories de risque pour les eaux de surface, les sources de niveau 1 nécessitant un traitement minimal (désinfection uniquement), et les sources de niveau 4 nécessitant un traitement approfondi ; tout ce qui dépasse le niveau 4 est considéré comme "impropre" à l'utilisation. Cette classification des risques est fondée sur une perspective pathogène, en utilisant les résultats historiques concernant l'*Escherichia coli* et un risque bactérien et viral perçu, ainsi que le risque lié au *Cryptosporidium* et au *Giardia* spp sur la base des activités d'utilisation des terres constatées.

Le bassin versant du Ten Mile Brook comportait des terres privées, avec un certain nombre de pâturages pour le bétail, et sur la base de ces constatations, cette source a été considérée comme présentant un risque modéré (niveau 3 - nécessitant quelques barrières de traitement supplémentaires telles que la filtration ou la désinfection aux ultraviolets (UV)). Cependant, la source de pompage de la Margaret River a été jugée inappropriée en raison du nombre préalablement élevé d'*E. coli* et du grand nombre de bovins qui paissent directement dans les flux d'alimentation menant à la source de pompage. En outre, très peu de mesures de protection de la source auraient pu être prises pour réduire le risque.

De plus, des pics de turbidité et d'*E. coli* ont été observés à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook lorsque le pompage était en marche.

Un plan d'action a été élaboré à la suite du processus de planification de la sécurité de l'eau. À moyen terme, un certain nombre de mesures ont été prises pour atténuer les risques pathogènes inhérents à

l'utilisation de la pompe de la Margaret River comme source. Ces mesures sont résumées ci-dessous et examinées plus en détail dans les sections suivantes (figure A2.3) :

- Installation d'analyseurs de turbidité aux embouchures du pompage de la Margaret River et du Ten Mile Brook avec arrêt automatique de la station de pompage si la turbidité est mesurée à plus de 5 unités de turbidité néphélométriques (UNT). Les turbidités supérieures à 5 UNT ont été associées à des précipitations importantes, à une augmentation de la charge en agents pathogènes et à une diminution de l'efficacité de la désinfection.
- Amélioration de la désinfection par UV à l'embouchure du Ten Mile Brook.
- Déplacement de la pompe de la Margaret River à l'arrière du Ten Mile Brook.
- Filtration membranaire à l'embouchure de la pompe de Margaret River.
- Abandon du pompage de la Margaret River comme source et développement d'une nouvelle source à partir d'une source aquifère confinée.

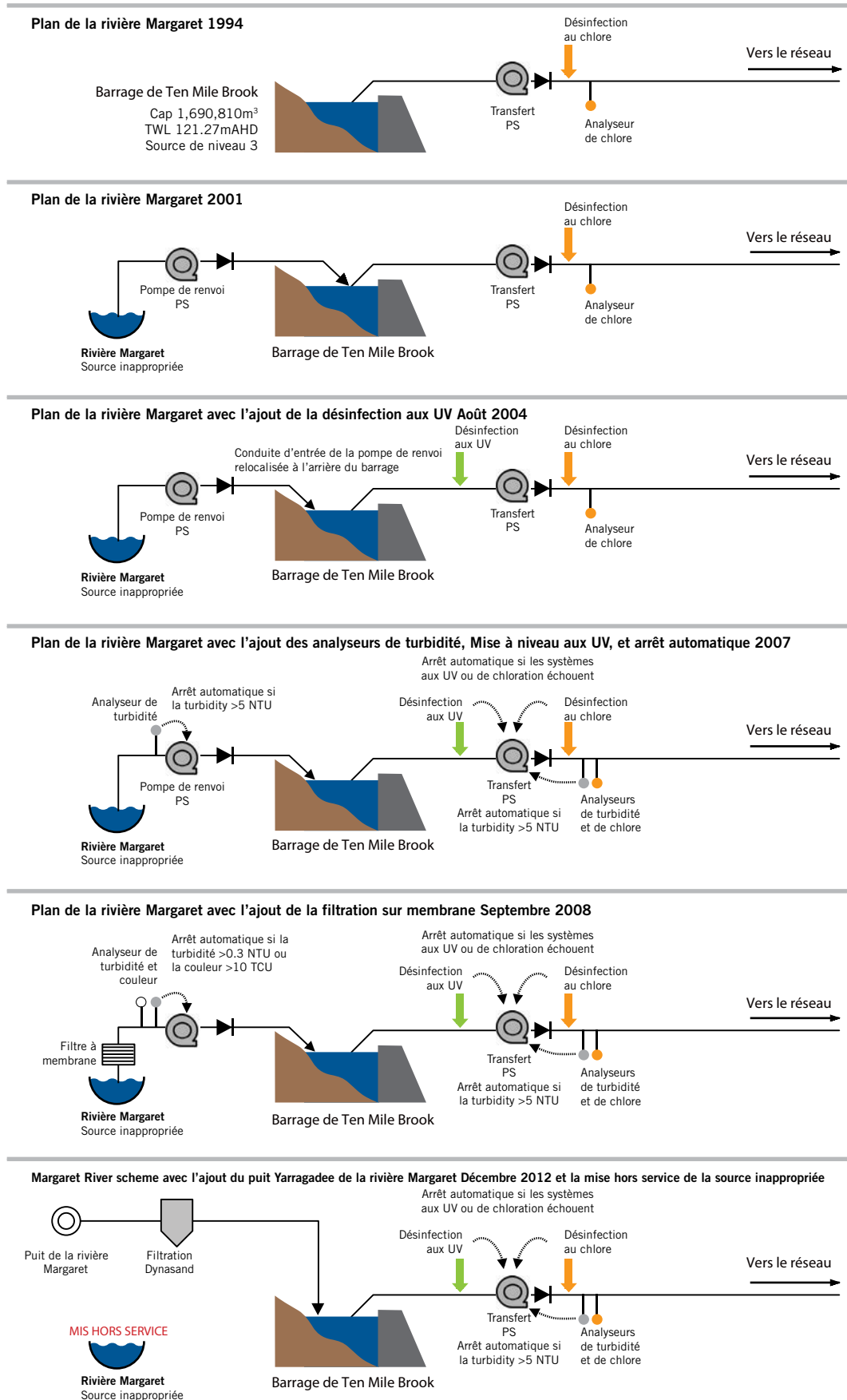
La stratégie à long terme consistait à installer une usine de traitement des eaux à Ten Mile Brook

Stratégie opérationnelle et plan d'action du plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau

Le traitement supplémentaire prenant des mois pour être mis en service, le plan de sécurité de l'eau a fourni un outil efficace pour élaborer et convenir immédiatement de stratégies d'exploitation appropriées pour la source, en fonction de la qualité de l'eau provenant du pompage et du barrage d'approvisionnement du Ten Mile Brook. Il a été décidé de limiter l'utilisation du pompage à des périodes où la turbidité était inférieure à 5 NTU, car des niveaux élevés d'*E. coli* coïncident généralement avec des niveaux élevés de turbidité. Cette limite opérationnelle (point de contrôle du processus) a été utilisée comme indicateur de substitution de la charge pathogène provenant du pompage et a servi à limiter le fonctionnement aux périodes où le risque pathogène est probablement plus faible. Parmi les autres actions immédiates, on peut citer le déplacement de l'entrée du pompage vers l'arrière du Ten Mile Brook pour limiter les court-circuit et permettre une disparition naturelle et une dilution maximales dans le barrage du Ten Mile Brook avant la désinfection, et la mise en service d'une unité de désinfection par UV.

En août 2004, une unité de désinfection par UV a été installée à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook. Bien que cette barrière supplémentaire n'ait pas suffi à elle seule à répondre aux exigences fixées par la Water Corporation, elle a tout de même été considérée comme une mesure provisoire efficace de réduction des risques. L'unité de désinfection par UV est devenue un point de contrôle critique, ciblant $> 40 \text{ mJ/cm}^2$. Par la suite, lorsque la Water Corporation s'est familiarisée avec les limites de la désinfection UV, le PGSSE a été révisé en 2006 et des limites de points de contrôle ont été appliquées à la qualité de l'eau à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook pour la couleur (10 unités de brume) et la turbidité ($< 2 \text{ NTU}$) afin d'assurer le fonctionnement efficace de la barrière UV.

Figure A2.3. Plan de la rivière Margaret montrant les changements dans les arrangements de l'approvisionnement en eau au cours du temps en réponse au changement climatique



Incident lié à la qualité de l'eau, hiver 2007

Durant l'hiver 2007, le barrage de Ten Mile Brook a connu un très faible écoulement du bassin versant. L'approvisionnement de la localité est donc devenu encore plus dépendant du pompage de la Margaret River. On estime qu'à la fin de l'hiver 2007, plus de 50 % de l'eau stockée au barrage de Ten Mile Brook provenait du pompage. La plus grande proportion d'eau pompée par le barrage de Ten Mile Brook a entraîné une violation des limites opérationnelles de couleur et de turbidité à l'embouchure du barrage principal. Cela a conduit à l'application de mesures d'intervention, telles que définies dans le plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau, basées sur la possibilité que l'unique barrière de protozoaire à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook (désinfection par UV) soit compromise.

La réponse immédiate a été de cesser le pompage jusqu'à ce que l'eau du barrage de Ten Mile Brook atteigne les limites opérationnelles en matière de couleur et de turbidité.

En prévision de l'hiver 2008, un autre hiver sec verrait se répéter le scénario de 2007, mais avec des conséquences plus graves pour la qualité de l'eau et la continuité de l'approvisionnement en eau.

L'accélération du plan d'augmentation des eaux souterraines a été envisagée, mais a été jugée peu pratique.

La seule option restante étant d'utiliser encore plus d'eau de pompage provenant de la Margaret River, il a donc été jugé nécessaire d'installer une deuxième barrière contre les protozoaires pathogènes sur le pompage de la Margaret River. Le plan d'action comprenait :

- Une station de traitement de l'eau par microfiltration sur la station de pompage de la Margaret River ;
- Une augmentation de la capacité et de la redondance de l'installation UV à la sortie du barrage de Ten Mile Brook ;
- L'achat de terrains privés dans le bassin versant qui était considéré comme une source possible de *Cryptosporidium* et de *Giardia*.

Toutes les eaux entrant dans le barrage de Ten Mile Brook sont désormais considérées comme "à faible risque" pour ce qui concerne le *Cryptosporidium* et le *Giardia*. Par conséquent, le niveau de risque du barrage de Ten Mile Brook a été modifié pour devenir une source de niveau 2. L'UV à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook est une solide seconde ligne de défense pour l'approvisionnement en eau traitée. Les installations de micro filtration et d'UV sont toutes deux conçues pour être "à sécurité intégrée", ce qui signifie que si les limites opérationnelles associées ne sont pas atteintes, l'approvisionnement en eau s'arrête automatiquement.

Développement de sources alternatives, 2012

Si les mesures prises à la suite de l'incident de l'hiver 2007 ont considérablement réduit les risques pour la qualité de l'eau à Margaret River, il n'en demeure pas moins nécessaire de trouver une solution de rechange.

L'utilisation du pompage à haut risque de la Margaret River avec ultrafiltration (UF) et le recours à une seule barrière UV à l'embouchure de Ten Mile Brook ont été le catalyseur qui a permis de commencer à planifier la stabilisation de l'approvisionnement en eau à la Margaret River et d'établir les critères de sélection des nouvelles sources.

Cela a conduit la Water Corporation à établir un ordre de préférence pour les nouvelles sources basées sur le risque pathogène, comme indiqué ci-dessous :

1. Les eaux souterraines confinées ;
2. Les eaux souterraines non confinées ;
3. Les eaux de surface (grand barrage) ;
4. Les eaux de surface (petit barrage) ;
5. Le pompage n'est acceptable que si le barrage n'est pas exploité pendant au moins 30 jours après la fin du pompage.

La planification de la Margaret River a préconisé par la suite l'utilisation d'une source aquifère confinée. Cette source a été développée en 2012, ainsi qu'une station de traitement des eaux associée pour l'élimination du fer. Cela a permis de mettre hors service la source de pompage de la Margaret River, réduisant ainsi encore les risques pour la qualité de l'eau à la Margaret River.

Plan à long terme

Une nouvelle révision de la planification en 2014 du projet de la Margaret River a soutenu la construction d'une usine de traitement des eaux à l'embouchure du barrage de Ten Mile Brook. Cela permettrait de combler les lacunes dans le traitement pour l'élimination des agents pathogènes. Bien que le risque à la source soit relativement faible, un traitement adéquat doit être mis en place pour ce niveau de risque (c'est-à-dire un traitement de niveau 2 pour une source de niveau 2). Le traitement actuel de la désinfection par UV et par chloration permet une réduction acceptable du risque lié aux agents pathogènes ; toutefois, il est considéré comme un arrangement temporaire. En règle générale, une source de niveau 2 nécessite une barrière physique d'élimination, telle qu'une filtration sur milieu granulaire.

La recommandation de planification à long terme est d'installer une station de traitement de niveau 2 au barrage de Ten Mile Brook.

Conclusion

Les changements climatiques ont sérieusement compromis le rendement de nombreux projets gérés par la Water Corporation dans l'ouest de l'Australie. Le développement de nouvelles sources est coûteux et, dans la plupart des cas, la mise en service peut prendre de nombreuses années. Pendant ce temps, il y a une pression croissante pour utiliser des sources à haut risque afin d'augmenter l'approvisionnement. L'élaboration et la mise en œuvre de plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau est un mécanisme efficace pour identifier et ensuite minimiser les risques pour les clients lors de l'exploitation de ces sources. En accordant une attention particulière aux évaluations des risques, aux stratégies d'atténuation, aux points de contrôle et aux plans d'intervention, les services publics peuvent faire preuve de diligence raisonnable tout en tenant compte des variations climatiques et de la qualité de l'eau.

Référence de l'annexe 2

1. Deere D, Stevens M, Davison A, Helm G, Dufour A. Management strategies. In: Fewtrell L, Bartram J, editors. Water quality: guidelines, standards and health – assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. London: World Health Organization and IWA Publishing; 2001:257–88.

Annexe 3. Étude de cas du Népal : Plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau pour la gestion des risques au Népal

Introduction

Le fait de veiller à ce que les plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau (PGSSE) prennent systématiquement en compte et traitent les impacts potentiels de la qualité et de la quantité de l'eau liés au changement climatique contribue à créer des PGSSE plus efficaces et des systèmes d'approvisionnement en eau plus résilients. Le Ministère Britannique du Développement International (DFID) et le Partenariat sur la Qualité de l'Eau pour la Santé (WQP) de l'Organisation Mondiale de la Santé ont donc collaboré pour développer le projet de document d'orientation intitulé "Climate-resilient water safety plans : managing health risks associated with climate variability and change" en français *Plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau résilients au climat : gérer les risques sanitaires liés à la variabilité et au changement climatique*.

Le pilotage du document d'orientation a été effectué au Népal avec le soutien technique du WQP et le soutien financier du DFID. Le DFID soutient le développement de PGSSE résistants au climat dans le cadre d'un projet de 10 millions de dollars US visant à renforcer l'adaptation au changement climatique dans le domaine de la santé au Bangladesh, en Éthiopie, au Népal et en République-Unie de Tanzanie grâce à des systèmes d'eau, d'assainissement et d'hygiène résilients. Au Népal, l'élaboration de PGSSE résilients au climat, financée par le DFID, s'appuie directement sur le programme PGSSE établi par le biais du WQP, en s'appuyant sur la sensibilisation et le soutien, les capacités, les outils et les exigences réglementaires existants du PGSSE. En retour, le projet du DFID contribue aux objectifs du WQP en fournissant des ressources supplémentaires pour soutenir les partenaires nationaux dans le renforcement, la mise en œuvre et le suivi continus des PGSSE.

Des PGSSE résilients au climat ont été testés dans cinq systèmes d'approvisionnement en eau au Népal. Les principales conclusions sont résumées ci-dessous, ce qui démontre l'intérêt de prendre en compte les impacts climatiques dans le cadre du processus PGSSE.

Résultats et réponses du projet pilote PGSSE sur la résilience au climat : dangers, risques et mesures de contrôle des changements climatiques

Les événements dangereux liés au changement climatique au Népal sont généralement décrits comme provenant de l'augmentation de l'intensité et de la variabilité des précipitations, de la diminution des débits d'eau et de l'augmentation de la variabilité des températures, qui ont tous un impact sur la disponibilité et la qualité de l'approvisionnement en eau et peuvent entraîner des problèmes de sécurité sanitaire de l'eau.

Le réchauffement climatique a un impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Des précipitations plus intenses entraînent une augmentation de la libération d'agents pathogènes, de la turbidité, des charges de produits chimiques et de nutriments dans les bassins versants, et les inondations provoquent une contamination à court terme des sources d'eau de surface qui dépasse souvent la capacité des stations d'épuration. L'intensité accrue des précipitations et l'allongement des périodes de sécheresse entraînent également une augmentation ou une diminution du niveau des eaux souterraines et une contamination des eaux souterraines due à l'infiltration de polluants.

L'augmentation du ruissellement fait que les eaux de surface pénètrent dans les têtes de puits et inondent les latrines à fosse, en particulier dans les zones de plaine comme le Terai. Les pluies intenses provoquent également une contamination croisée et une pollution de surface en raison des réseaux d'égouts endommagés, des drains de surface et des inondations. Parmi les autres événements dangereux, il y a les glissements de terrain, les inondations qui endommagent les prises d'eau, les canalisations et autres structures, et les feux de friches en période de sécheresse qui endommagent les tuyaux en plastique posés à la surface dans les zones de jungle.

Les principales mesures de contrôle envisagées dans la conception de systèmes d'approvisionnement en eau résilients au climat doivent tenir compte de ces événements dangereux. Elles comprennent la protection des bassins versants par des mesures de contrôle de l'érosion des sols et des glissements de terrain et la déviation des eaux de crue en cas de précipitations ; l'amélioration de la protection des têtes de puits ; l'installation de puits tubulaires profonds ; la conception de stations de traitement des eaux pour faire face à une série d'événements de pollution prévus dans des situations extrêmes (ou l'introduction d'une capacité de traitement et de stockage supplémentaire pour tenir compte de l'interruption du temps de production, de la qualité et de la quantité) ; l'utilisation de matériaux de canalisation appropriés ; et la conservation de l'eau et la protection des sources locales ou alternatives, y compris la sensibilisation aux principes des 3R (réduire, réutiliser et recycler) dans le secteur de l'eau et de l'assainissement.

Figure A3.1. Exemples de préoccupations liées au climat sur un site pilote (Jomsom, Mustang)



L'augmentation des sédiments signifie que la hauteur relative du passage de la canalisation est plus faible



Prises d'eau des rivières susceptibles d'être endommagées par les glissements de terrain et les inondations



Dommages subis par les tuyaux sur les pentes raides



En raison de l'épuisement des eaux souterraines, la source et la structure de prise d'eau associée sont plus basses

Adaptation du processus du PGSSE pour faire face aux problèmes climatiques

Afin d'accroître la résilience climatique des PGSSE, certaines modifications ont été apportées au processus des PGSSE, en vertu desquelles un expert en changement climatique (ou une personne ayant des connaissances en matière de changement climatique) est inclus dans les équipes des PGSSE. L'identification des dangers et l'évaluation des risques comprennent désormais la prise en compte des dangers climatiques, y compris les événements météorologiques extrêmes tels que les fortes pluies, les inondations et la sécheresse, et les mesures de contrôle sensibles au changement climatique et aux événements météorologiques extrêmes sont incluses dans le PGSSE. Les équipes du PGSSE sont encouragées à tirer les leçons des événements climatiques passés qui ont eu un impact sur le système d'approvisionnement en eau et à apprendre comment les changements liés au climat pourraient affecter le système d'approvisionnement en eau à l'avenir. Les équipes PGSSE sont encouragées à exploiter les possibilités offertes dans leur région pour s'engager avec d'autres parties prenantes, y compris les agents de santé et les experts locaux.

La prise en compte des risques induits par le climat et des mesures de contrôle plus résilientes est introduite dans de nombreux PSM existants, soutenus par le WQP. Par exemple, le PGSSE de Barchour Ranipani (Tanahu) disposait au départ de la mesure de maîtrise des risques habituelle, à savoir un canal de dérivation au-dessus de la prise d'eau pour protéger contre la contamination de l'eau de source par le canal d'irrigation en amont pendant la saison des pluies. Toutefois, compte tenu des risques de glissements de terrain et d'inondations liés à des conditions climatiques extrêmes, la partie critique du canal ouvert a maintenant été remplacée par un aqueduc et a donc été rendue plus résistante au climat.

Conclusions et résultats

Les projets pilotes PGSSE résilients au climat au Népal démontrent que le processus PGSSE fournit un cadre efficace pour examiner et traiter les risques que le changement climatique fait peser sur les systèmes d'approvisionnement en eau. Les directives nationales de mise en œuvre du PGSSE et les manuels de formation associés pour les systèmes urbains et ruraux, qui ont été élaborés dans le cadre du WQP, ont été révisés pour tenir compte des questions liées au changement climatique. L'approche précédente du PGSSE a donc été remplacée par une approche révisée du PGSSE qui encourage la prise en compte des impacts climatiques, avec le concept de résilience climatique implicite et pleinement intégré, de sorte que l'expression "PGSSE résilient au climat" pourrait devenir superflue à l'avenir.

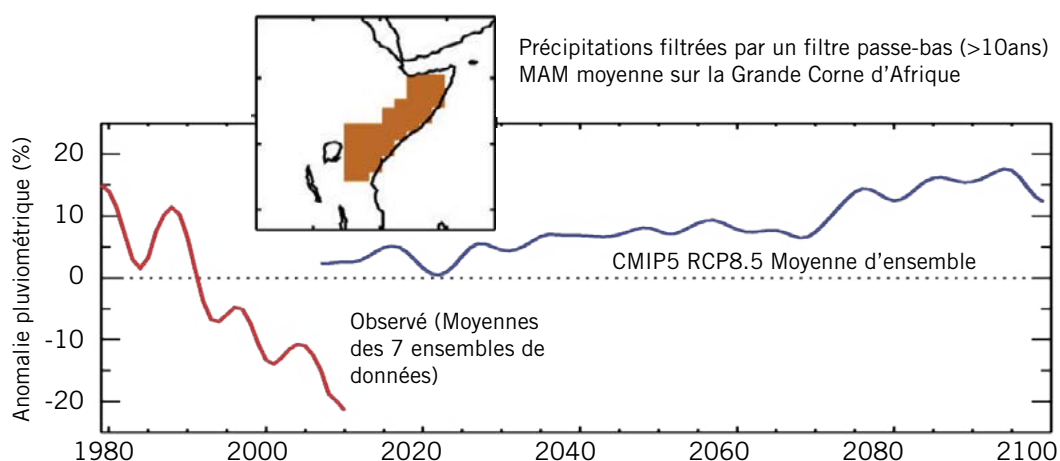
Cette étude de cas montre comment le soutien d'autres donateurs est utilisé pour s'appuyer presque sans faille sur le travail effectué par le WQP. Les effets du changement climatique illustrés ici ne sont pas propres au Népal et d'autres pays (par exemple la République Démocratique Populaire Lao et le Viet Nam) s'intéressent de plus en plus à cette approche et aux leçons à en tirer.

Annexe 4. Étude de cas de la République-Unie de Tanzanie : comment les PGSSE peuvent-ils aider à s'adapter à un climat incertain ?

Les plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau sont conçus pour fournir une approche proactive de la gestion des risques liés à l'approvisionnement en eau. Mais que se passe-t-il lorsque les risques sont incertains ? En Afrique de l'Est, le climat devrait être plus humide d'ici à la fin du 21^e siècle, avec des saisons des pluies plus intenses et des sécheresses moins graves entre octobre et décembre et entre mars et mai (1). Cependant, la tendance actuelle observée montre une diminution, au cours des trois dernières décennies, des précipitations saisonnières de mars à mai (1). Comme l'illustre la figure A4.1, ces rapports contradictoires de diminution et d'augmentation des précipitations créent le "paradoxe de l'Afrique de l'Est". Un certain nombre de théories sur ce paradoxe sont actuellement à l'étude (2), mais sans encore trouver de solution. Pour les gestionnaires de l'eau, ce paradoxe crée une grande incertitude quant à la disponibilité future de l'eau et à la manière dont ils devraient s'adapter au changement climatique.

Toutefois, certains aspects des prévisions présentent un degré de confiance plus élevé et peuvent être utilisés par les gestionnaires de l'eau pour influencer leur planification d'adaptation au climat ; pour cela, nous nous concentrerons sur deux domaines, les implications pour la quantité et la qualité.

Figure A4.1. Le "paradoxe de l'Afrique de l'Est" : tendance actuelle à la sécheresse et projections d'une augmentation des précipitations pour les "longues pluies" de mars à mai sur la Grande Corne de l'Afrique



©Crown copyright Met Office

Remarque : L'image montre la série chronologique (coupe d'amplitude de 50 % sur 10 ans) des anomalies de précipitations observées (ligne de gauche) et projetées (ligne de droite) de mars à mai, en moyenne sur la grande Corne de l'Afrique (zone indiquée par l'encadré). La moyenne des données observées est calculée sur sept ensembles de données quadrillées et la moyenne des données projetées est calculée sur 39 modèles CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) forcés par le scénario avec les plus grandes émissions de gaz à effet de serre projetées et le changement climatique associé. Les unités sont des pourcentages de la climatologie 1901-2000, calculés à l'aide des ensembles de données grillées observées disponibles pour chaque année ou des séries historiques CMIP5 correspondantes (3).

Bien qu'il y ait une incertitude générale sur les projections concernant les précipitations totales, et donc la quantité disponible des précipitations, il y a de bonnes raisons de penser que les précipitations seront plus intenses. Pour la République-Unie de Tanzanie, cela sera associé à des "longues pluies" plus courtes (mars-mai), à des périodes sèches plus longues et à des jours de pluie plus extrêmes. Les implications sont qu'il y aura de plus grandes variations dans la disponibilité de l'eau tout au long de l'année, le stockage de l'eau et la gestion de la demande étant de plus en plus importants. Une étude des données historiques en République-Unie de Tanzanie a souligné comment la majorité de la recharge des eaux souterraines du champ de captage de Makutapora, qui assure l'approvisionnement en eau potable de Dodoma, est associée à des précipitations extrêmes, 75 % de la recharge étant associée à seulement 11 saisons sur une période de 55 ans (4). Comme l'ont recommandé les auteurs, avec le passage prévu à des précipitations plus intenses, il est probable que la recharge des eaux souterraines augmente, ce qui fait des eaux souterraines une importante option de réservoir d'eau et d'adaptation. Les eaux souterraines ne seraient pas seulement une solution pour l'approvisionnement en eau potable, mais une ressource importante pour l'agriculture. Les PGSSE devraient donc prendre en considération d'autres types de prélèvements et examiner si la réglementation est suffisante pour protéger les prélèvements d'eau potable.

Des pluies plus intenses et des jours de pluie plus extrêmes seront associés à des impacts sur la qualité de l'eau. Des pluies plus intenses sont associées à un ruissellement accru, entraînant une augmentation des charges sédimentaires et des inondations. Les événements pluvieux sont associés à une baisse de la qualité de l'eau, les matières fécales animales et les eaux usées étant entraînées dans les eaux de surface. Les inondations et les pluies extrêmes peuvent endommager les infrastructures, et les fortes charges de sédiments et de pollution peuvent rendre le traitement inefficace (5). Lorsque la recharge des eaux souterraines est associée à ces événements extrêmes, comme en République-Unie de Tanzanie, il sera important pour les PGSSE de comprendre les changements de qualité des eaux souterraines pendant les périodes de recharge rapide et les solutions de gestion appropriées.

À ce jour, il n'y a eu qu'une utilisation limitée documentée des PGSSE en République-Unie de Tanzanie. D'autres formes de systèmes de gestion sont en cours de mise en œuvre, notamment pour améliorer la fiabilité des points d'eau, ce qui favorisera l'adaptation et renforcera la résilience, car la possibilité de périodes sèches plus longues en l'absence d'autres sources d'eau augmentera la pression sur les points d'eau. Toutefois, les PGSSE favoriseront une approche plus globale de l'analyse des impacts potentiels du changement climatique sur l'approvisionnement en eau et les services liés à l'eau.

En résumé, dans les régions où il peut y avoir une grande incertitude sur certains aspects des prévisions de changement climatique, comme en République-Unie de Tanzanie, les PGSSE devraient concentrer l'adaptation sur les aspects pour lesquels il y a plus de confiance, et s'assurer que l'équipe demeure à jour avec les dernières prévisions pour la région. En République-Unie de Tanzanie, l'accent mis sur l'adaptation à une plus grande variabilité et à des précipitations plus intenses contribuera à renforcer la résilience, que le climat soit plus humide ou plus sec.

Références de l'annexe 4

1. Niang I, Ruppel OC, Abdrabo MA, Essel A, Lennard C, Padgham J et al. Africa. In: Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE et al., editors). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America: Cambridge University Press; 2014:1199–265.
2. Booth B, Rowell D, Nicholson SE, Good P. Reconciling past and future rainfall trends over East Africa. Abstract GC53B-0521. Fall Meeting Abstracts, American Geophysical Union; 2014.

3. Graham R, Rowell D, Vellinga M. Drivers of multi-decadal variability and change in West and East Africa. Presentation at Climate Change and Development in Africa 4, Marrakech, 8–10 October 2014 (<http://www.climdev-africa.org/sites/default/files/ccda4documents/1.1.2.%20Richard%20Graham.pdf>, accessed 20 March 2017).
4. Taylor RG, Todd MC, Kongola L, Maurice L, Nahozya E, Sanga H et al. Evidence of the dependence of groundwater resources on extreme rainfall in East Africa. *Nature Climate Change*. 2013;3(4):374–8.
5. Charles K. Climate change. In: Bartram J, with Baum R, Coclanis PA, Gute DM, Kay D, McFayden S et al., editors. *Routledge handbook of water and health*. London and New York: Routledge; in press.

Annexe 5. Études de cas de l'Éthiopie : Faire face aux changements climatiques dans les systèmes d'approvisionnement en eau en Éthiopie

Système d'approvisionnement en eau géré par une petite communauté, district de Meskan, Southern Nations, Nationalities and People's Region, Éthiopie

Ellie kebele du district de Meskan, dans la Southern Nations, Nationalities and People's Region, a été l'un des projets pilotes d'approvisionnement en eau gérés par la communauté, mettant en œuvre des plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE) résilients au climat.

Pour la plupart des sources d'eau dans les zones pilotes, l'impact des inondations n'a pas été pris en compte lors de la mise en œuvre et de la construction. Par conséquent, il existe des sources d'eau et des fontaines publiques qui ne fonctionnent pas pendant la saison des pluies lorsqu'elles sont inondées. Mais après le lancement d'un Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau résilient au climat, l'équipe mobilise leurs communautés et ressources respectives pour creuser des fossés de dérivation afin de protéger leurs sources d'eau contre les risques d'inondation intensive qui se produisent à chaque saison des pluies et empêchent la fourniture d'un approvisionnement en eau salubre et adéquat aux membres de la communauté à Ellie kebele.

Pendant la saison des pluies, les inondations constituent un grand défi, car elles contaminent et inondent la source d'eau et interrompent l'approvisionnement en eau propre. C'est pourquoi les membres de la communauté ont été obligés de chercher d'autres sources d'eau, la plupart du temps des sources d'eau non améliorées comme les étangs et les rivières. De plus, l'équipe du PGSSE résiliente au climat, a constaté que la source n'était pas clôturée et que les activités agricoles étaient menées à proximité de la source d'eau.

Après avoir suivi une formation sur la planification de la sécurité sanitaire de l'eau résistant au climat, l'équipe a convenu avec l'administration du kébélé d'Ellie que l'activité agricole représentait un risque important pour l'approvisionnement en eau.

Des efforts sont actuellement en cours pour relocaliser les activités agricoles qui sont proches de la source d'eau. Une fois que les activités agricoles ont été déplacées, des plans sont en place pour planter des arbres locaux afin de protéger et de entretenir la nappe phréatique.

Élaboration d'une politique de planification de la sécurité Sanitaire de l'eau résistante au climat en Éthiopie

Le changement climatiques et la variabilité ont un impact sur presque tous les secteurs sociaux et économiques, y compris le secteur de l'eau, et les conséquences sont importantes. L'Éthiopie a un climat complexe et varié en raison de sa géographie diversifiée. Le changement climatique est

susceptible d'avoir un impact significatif sur la disponibilité et la sécurité des ressources en eau en Éthiopie. Certains des impacts du changement climatique et de la variabilité se manifestent par le nombre croissant de phénomènes météorologiques extrêmes, notamment les inondations et les sécheresses, et par la fréquence croissante des maladies d'origine hydrique, la diminution de la qualité de l'eau et l'augmentation de la demande énergétique. .

Figure A5.1. La communauté d'Ellie kebele a mobilisé ses propres ressources pour creuser un fossé de dérivation de 250 mètres afin de protéger la seule source d'eau, qui profite à plus de 6000 personnes



Figure A5.2. Shafi, employé de l'office des eaux du district, montrant les activités agricoles près de la source d'eau à Ellie kebele



En Éthiopie, le suivi et l'évaluation systématiques et complets de la qualité de l'eau font défaut, à l'exception de tests ad hoc de la qualité de l'eau, qui suivent souvent l'apparition de maladies ou de problèmes de santé signalés liés à l'eau, à l'assainissement et à l'hygiène. Par conséquent, la plupart des institutions et organisations ne disposent pas d'activités de contrôle et de surveillance continues et complètes de la qualité de l'eau. À la suite du projet « *S'adapter aux changements climatiques dans le domaine de la santé dans les pays les moins développés à travers des WASH résilients* » le gouvernement éthiopien a élaboré et approuvé des documents de politique et d'orientation sur les PGSSE résilients au climat afin de garantir la salubrité de l'eau de la source au point d'utilisation grâce à la prise en compte, l'évaluation et la gestion des risques liés au climat. Les mesures associées sont mises en œuvre dans le cadre d'un programme national WASH en Éthiopie. Les documents de politique et de lignes directrices ont été diffusés pour une utilisation plus large par différents secteurs et partenaires de développement WASH dans le pays.

Figure A5.3. Documents nationaux de politique et d'orientation sur les PGSSE résilients au climat en Éthiopie



District de South Achefer, région d'Amhara en Éthiopie

Lalibela kebele est situé dans le district de South Achefer, dans l'État d'Amhara. Le système d'approvisionnement en eau géré par la communauté de Lalibela était un site pilote de mise en œuvre du PGSSE résilient au climat en Éthiopie. La source d'eau de ce kebele était exposée aux risques de dommages et de contamination dus aux inondations, en particulier pendant la saison pluvieuse. Après la formation, l'équipe du PGSSE a identifié les risques d'inondation et a mobilisé la communauté pour creuser un fossé de dérivation afin de protéger le système d'approvisionnement en eau contre les risques de dommages et de contamination. La construction d'un fossé de dérivation standard est actuellement en cours de planification afin de protéger la source d'eau contre les risques d'inondation (du fleuve Zabzi) à plus long terme. Une végétation locale a également été plantée autour des sources d'eau afin de les protéger contre les fortes inondations et d'améliorer la recharge en eau. Des clôtures appropriées ont été construites pour protéger la source d'eau du puits. L'équipe du PGSSE résilient au climat a également identifié qu'un vieux réservoir d'eau rouillé et endommagé peut représenter un danger pour la santé publique en plus de causer un important gaspillage d'eau. C'est pourquoi les comités d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'hygiène, en collaboration avec l'équipe du PGSSE résilient au climat, se sont engagés auprès de la communauté pour l'encourager à collecter des fonds pour le remplacer, avec le soutien du Bureau régional de l'eau.

Figure A5.4. La communauté a creusé un fossé de dérivation et a planté une végétation locale pour protéger le système d'eau des éventuels dégâts et contaminations dus aux inondations. Des clôtures appropriées ont également été construites



Figure A5.5. Cette citerne d'eau coulait et se rouillait depuis de nombreuses années à Lalibela kebele, dans l'état régional d'Amhara. Celle qui se trouve au sol est une nouvelle citerne qui remplacera l'ancienne



Annexe 6. Étude de cas du Bangladesh : Impacts de la salinité sur les sources d'eau potable

Le Bangladesh est, selon l'indice mondial des risques climatiques, le pays le plus vulnérable aux événements météorologiques extrêmes. La vulnérabilité du Bangladesh est due à sa vaste zone côtière, à la forte densité de sa population et à sa dépendance vis-à-vis de ses ressources naturelles. Le rapport 2007 du GIEC prévoyait que l'élévation du niveau de la mer due au réchauffement climatique inonderait 17 % du Bangladesh et créerait 20 millions de réfugiés d'ici 2050.

La vulnérabilité de la zone côtière s'est accrue en raison de l'impact croissant des événements de ces dernières décennies, notamment les cyclones, l'augmentation du niveau des marées, les tempêtes, les inondations et l'intrusion saline. Ces événements extrêmes ont eu un impact sur la qualité et la quantité des ressources en eaux souterraines et de surface. Au cours des 30 dernières années, les zones touchées par la salinité ont augmenté de 26 % (1).

Bien que les statistiques nationales de 2011 indiquent qu'environ 88 % de la population utilise des eaux souterraines salubres par le biais de puits tubulaires à des fins de boisson et usage domestiques. Une récente évaluation de terrain sur la vulnérabilité et l'adaptation au climat a révélé que la disponibilité de l'eau potable dans la région a diminué, 50 % de la population côtière n'ayant pas d'autre choix que de collecter l'eau potable et l'eau domestique provenant directement de sources dangereuses telles que les étangs, les canaux et les rivières. Ces sources sont contaminées par le ruissellement de surface et l'intrusion des eaux salines. La concentration saline de nombreux puits tubulaires peu profonds augmente à un niveau où ils deviennent inutilisables et sont abandonnés. Le niveau de la nappe phréatique a également baissé, ce qui oblige à creuser des puits plus profonds et plus coûteux. Dans certaines régions, même cette option de puits tubulaires profonds n'a pas réussi en raison du manque de disponibilité des aquifères. La hauteur normale des marées a augmenté, tant à marée basse qu'à marée haute, ce qui a entraîné des problèmes d'engorgement irréguliers dans certaines régions. Les parties métalliques des puits tubulaires ont été affectées par la corrosion. Les communautés côtières connaissent une augmentation des problèmes de santé, notamment la pneumonie, la diarrhée, la dysenterie et la fièvre chez les enfants, et la diarrhée, la typhoïde et les maux d'estomac chez la population adulte.

Les zones côtières sont basses et plates, avec une hauteur moyenne de 3 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer. Lors des cyclones Sidr en 2007 et Aila en 2008, l'eau de mer a percé les remblais, entraînant la destruction à long terme des ressources en eau douce de surface telles que les étangs, les canaux et les rivières par l'intrusion d'eau saline dans des zones plus intérieures.

Le Bangladesh a 54 cours d'eau transfrontaliers avec l'Inde. Au cours des dernières décennies, ces cours d'eau ont transporté des torrents d'eau à travers les principaux fleuves jusqu'au golfe du Bengale, empêchant l'eau salée de l'océan de se déplacer vers l'intérieur des terres. Mais ces dernières années, le contrôle de ces fleuves par l'Inde a réduit le débit, affectant l'équilibre naturel entre l'eau douce et l'eau salée et provoquant le déplacement progressif des eaux salines vers l'intérieur des terres. Lorsque les étendues d'eau de surface deviennent salines, l'aquifère supérieur peu profond devient susceptible d'être contaminé par l'eau de surface en raison du phénomène naturel de recharge de l'aquifère. La réduction du débit des cours d'eau entraîne également une élévation du niveau du lit des cours d'eau par sédimentation.

Dans le but de faire face aux risques posés par la variabilité et les changements climatiques, le Bangladesh est l'un des quatre pays pilotes à mettre en œuvre un projet soutenu par le ministère britannique du développement international (DFID) sur « l'adaptation aux changements climatiques dans le domaine de la santé dans les pays les moins avancés grâce à un programme WASH résilient » qui comprend la mise en œuvre de PGSSE résilients au climat. Les communautés côtières font des efforts pour s'adapter à la situation défavorable de nombreuses façons, notamment en mélangeant l'eau de pluie avec l'eau salée des puits tubulaires pour un meilleur goût par dilution ; en utilisant du sulfate d'aluminium (alun) et des comprimés de chlore pour purifier l'eau sale de surface ; en construisant des réservoirs d'eau potable dans les foyers pour couvrir les périodes d'urgence ; et en utilisant des filtres faits-maison, faits de couches de tissu, pour nettoyer l'eau des étangs. Pour les usages domestiques autres que la boisson, les populations côtières utilisent les eaux de surface telles que l'eau des étangs ou des rivières, ce qui contribue au rationnement de l'eau.

Références de l'annexe 6

1. Mahmuduzzaman M, Ahmed ZU, Nuruzzaman AKM, Ahmed FRS. Causes of salinity intrusion in coastal belt of Bangladesh. *International Journal of Plant Research*. 2014;4(4A):8-13.

SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENT

Ce guide présente l'état actuel des connaissances sur les effets des changements climatiques sur le cycle de l'eau ainsi que les impacts sanitaires associés. Il est destiné à aider les fournisseurs d'eau qui se sont engagés à utiliser ou qui utilisent déjà l'approche du Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE), à mieux comprendre les questions liées aux changements climatiques et à soutenir l'identification et la gestion des risques liés aux changements climatiques dans le cadre du processus du PGSSE.

Le document aidera les professionnels du secteur, en particulier les fournisseurs d'eau et les équipes du PGSSE à identifier et à intégrer les questions plus larges du changement climatique, de la réduction des risques de catastrophe (RRC) et de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) en tant qu'approches contributives importantes au processus du PGSSE.

Département de la Santé Publique, des Déterminants
Environnementaux et Sociaux (PHE)
Organisation Mondiale de la Santé (OMS)
Avenue Appia 20-CH-1211 Genève 27 – Suisse
www.who.int/phe/en
E-mail : carbonfootprint@who.int