

MATERIELS DE FORMATION
DU GCE POUR
L'EVALUATION DE LA
VULNERABILITE ET DE
MESURES D'ADAPTATION



TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	I
6.1 INTRODUCTION.....	1
6.2 FACTEURS DE CHANGEMENT	2
6.2.1 Précipitations (y compris extrêmes et variabilité) et vapeur d'eau ...	2
6.2.2 Neige et glace terrestre	5
6.2.3 Evapotranspiration.....	5
6.2.4 Facteurs autres que le climat	5
6.3 REPERCUSSIONS POTENTIELLES	6
6.3.1 Humidité des sols	6
6.3.2 Changement du ruissellement et du débit des cours d'eau	6
6.3.3 Impacts hydrologiques sur les zones côtières	7
6.3.4 Changements de la qualité de l'eau	7
6.3.5 Changements des eaux souterraines	8
6.3.6 Changements de la demande et de l'alimentation en eau, et de l'assainissement	9
6.4 RESUME DE LA SITUATION	10
6.5 METHODES, OUTILS ET EXIGENCES RELATIVES AUX DONNEES 12	
6.5.1 Considérations d'ordre général.....	12
6.5.2 Approche intégrée de la gestion des ressources hydriques	13
6.5.3 Evaluation intégrée des ressources hydriques, modèles de planification et de gestion	16
6.5.4 Exigences relatives aux données	23
6.6 ADAPTATION	25
6.6.1 Options d'adaptation.....	25
6.6.2 Réponses d'adaptation par systèmes et secteurs	28
Adaptation des ressources hydriques dans l'agriculture et la sécurité alimentaire, utilisation des terres et foresterie	29

Adaptation des ressources hydriques dans le secteur de la santé humaine	30
Adaptation de l'alimentation en eau et de l'assainissement	31
Adaptation des ressources en eau dans les installations et les infrastructures	32
6.6.3 Intégration	32
6.6.4 Suivi et évaluation	33
6.7 REFERENCES	34

6.1 INTRODUCTION

Le changement climatique est susceptible de modifier le cycle hydrologique, et causer ainsi des répercussions importantes sur la disponibilité des ressources en eau, le calendrier et les changements de la qualité de l'eau. La répartition temporelle et spatiale et l'intensité des précipitations sont susceptibles de changer dans des mesures différentes, selon les facteurs climatiques et hydrologiques régionaux.

De plus, des changements importants dans le ruissellement peuvent survenir à cause de la quantité d'eau évaporée à partir du paysage et transpirée par les plantes, qui changera avec les changements de la disponibilité de l'humidité du sol et les réactions des plantes aux concentrations élevées de dioxyde de carbone (CO₂). Cela affectera les débits des cours d'eau et les recharges d'eau souterraine.

De même, les altérations suscitées par le changement climatique du cycle hydrologique s'ajouteront aux changements importants des bassins dus aux changements dans l'utilisation des terres, tels que la conversion des terres forestières en terres agricoles, des terres agricoles en zones urbaines, des prairies en terres agricoles, ainsi qu'à l'intensification de ces exploitations des terres. Ces changements affecteront la disponibilité et la demande de l'eau. Le changement des modèles et des niveaux de demande d'eau dans le futur entraînera des difficultés supplémentaires pour les réponses d'adaptation efficaces au changement climatique et la gestion des ressources hydriques.

Comme les autres chapitres sectoriels sur les Ressources côtières, l'Agriculture et la Santé humaine (chapitres 5, 7 et 8 respectivement), ce chapitre fournit une approche pour tenir compte des ressources hydriques dans le développement de la composante de vulnérabilité et adaptation (V&A) des communications nationales. Spécifiquement, ce chapitre fournit un bref aperçu des répercussions potentielles du changement climatique sur les éléments critiques des ressources hydriques, ainsi qu'un guide sur les outils et les méthodes clé disponibles en soutien de l'évaluation de la vulnérabilité et de la planification de l'adaptation.

Quatre ressources clé permettent une révision approfondie des questions relatives à la gestion des ressources hydriques dans le contexte du changement climatique. Ce sont :

- Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007)¹ ;
- Technical Paper on Climate Change and Water (Papier technique sur le changement climatique et l'eau) (Bates et al., 2008) du GIEC, rédigé en

¹ <<http://www.ipcc.ch/>>. Consulter le rapport du Groupe de travail I sur la science physique à la base des changements futurs potentiels du cycle hydrologique et le chapitre 3 « Ressources d'eau douce et leur gestion » du Groupe de travail II.

réponse aux suggestions par le Programme climatologique mondial – *Water, the Dialogue on Water* ;

- Manuel de formation du Programme de Développement des Nations Unies (PDNU) Cap Net (2009), *IWRM a Tool for Adaptation to Climate Change*² ;
- PNUE (2012) *Integrated Water Resources Management Planning Approach for Small Island Developing States*.

Ce chapitre est principalement basé sur le contenu de ces ressources et fournit des liens vers des informations techniques supplémentaires quand cela est nécessaire.

6.2 FACTEURS DE CHANGEMENT

Le Technical Paper on Climate Change and Water du GIEC (Bates et al., 2008) fournit un résumé complet des changements climatiques projetés en ce qui concerne l'eau, résumés dans la section suivante, à l'exclusion du niveau des mers, qui est traité dans le chapitre 5.

6.2.1 PRECIPITATIONS (Y COMPRIS EXTREMES ET VARIABILITE) ET VAPEUR D'EAU

Dans le Quatrième Rapport d'évaluation (AR4) du GIEC, le Groupe de travail I a résumé que le changement climatique modifiera le cycle hydrologique, entraînant des modèles modifiés de précipitations et de ruissellement. En général, le GIEC a conclu qu'au long du XXI^e siècle, la vapeur d'eau moyenne mondiale, l'évaporation et les précipitations allaient augmenter, avec :

- des précipitations accrues, généralement dans les zones de précipitations tropicales régionales maximales (telles que les régimes de mousson, et le Pacifique tropical en particulier) et à des latitudes élevées ;
- des réductions générales des précipitations dans la zone subtropicale.

Il est important de souligner que le GIEC a conclu que ces modèles continuent d'être observés dans les tendances récentes. Les modèles mondiaux généraux des précipitations futures potentielles sont présentés à la figure 6-1.

Toutes les simulations des modèles climatiques montrent des modèles complexes de changement des précipitations, certaines régions recevant moins de précipitations et d'autres en recevant plus qu'à l'heure actuelle. Les changements

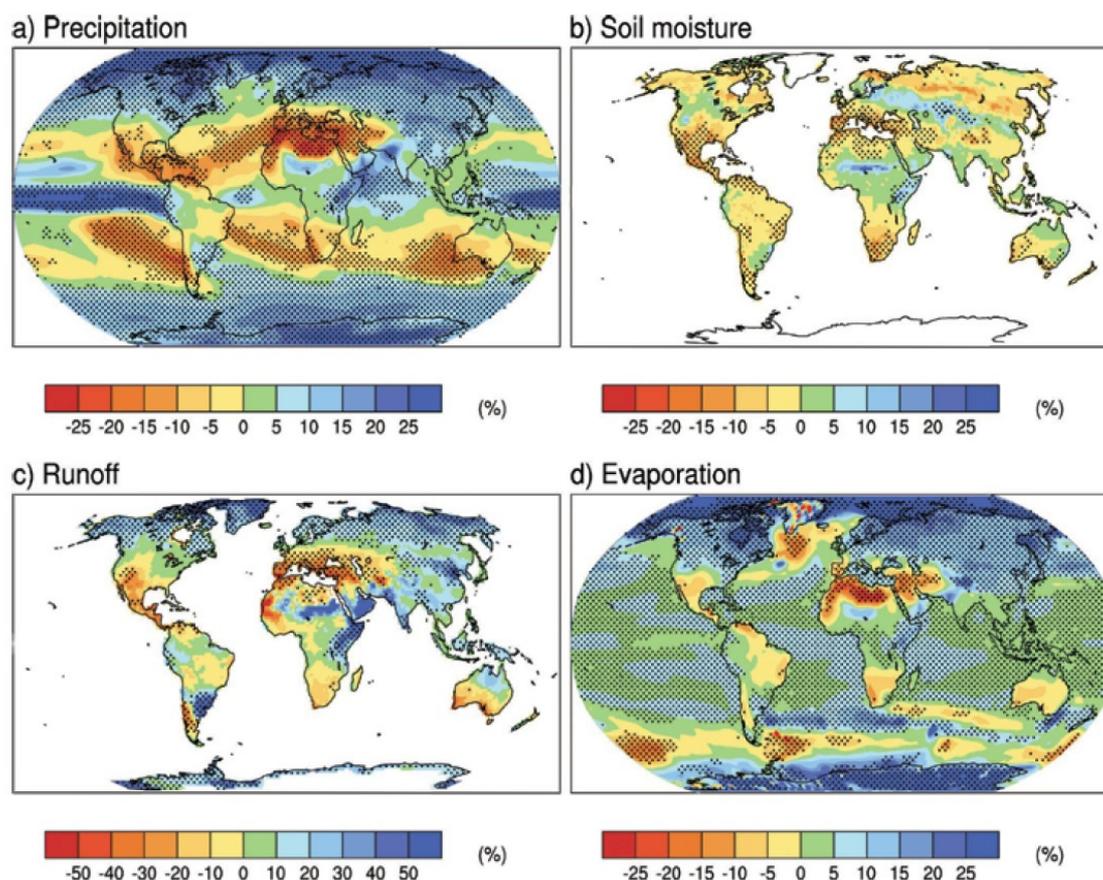
² <http://www.cap-net.org/node/1628>

des modèles de circulation, occasionnés par des facteurs mondiaux et également par les complexités des systèmes climatiques locaux, seront extrêmement importants pour déterminer les changements des modèles de précipitations locaux et régionaux.

En plus des changements des précipitations moyennes annuelles dans le monde entier, des changements sont susceptibles de survenir dans la fréquence et la répartition des événements de précipitations extrêmes. L'AR4 a conclu que :

- il est très vraisemblable que des événements de fortes précipitations deviendront plus fréquents ;
- il est vraisemblable que les cyclones tropicaux futurs deviendront plus intenses, entraînant des événements pluviométriques plus intenses ;
- il est prévu que l'intensité des événements de précipitations augmente, en particulier dans les zones tropicales et de latitude élevée qui connaissent des hausses des précipitations moyennes ;
- la tendance est au dessèchement dans les zones médio-continentales pendant l'été, indiquant un risque accru de sécheresse dans ces régions ;
- dans les zones les plus tropicales et de latitudes moyennes et élevées, les précipitations extrêmes augmentent plus que les précipitations moyennes ;
- il est prévu que les trajectoires des tempêtes tropicales se déplacent vers le pôle ;
- Il n'est pas encore possible d'effectuer une projection définitive des tendances dans la variabilité future de l'oscillation australe El Niño (ENSO) à cause du changement climatique.

Figure 6-1 : Changements moyens de quinze modèles en : (a) précipitations (%) ; (b) teneur en humidité du sol (%) ; (c) ruissellement (%) ; et (d) évaporation (%). Pour indiquer la consistance du signe de changement, les régions en pointillés sont celles dont au moins 80% des modèles confirment le signe de changement moyen. Les changements sont les moyennes annuelles du scénario du SRES A1B pour la période 2080-2099 relative à 1980-1999. Les changements de l'humidité du sol et du ruissellement sont présentés aux zones terrestres avec des données valables d'au moins dix modèles (Source : Bates et al., 2008).



Il est important de souligner que le GIEC a observé une variation régionale substantielle des futurs modèles d'événements pluviométriques extrêmes, et dans la capacité de prédire les changements futurs, à cause du manque de données climatologiques actuelles et d'études spécifiques de modélisation.

Par conséquent, pour s'assurer que les scénarii régionaux de changement des précipitations sont capturés de façon efficace dans la composante de planification des ressources hydriques dans les communications nationales, une sélection attentive d'un processus de développement de scénario (présenté au chapitre 4) est nécessaire.

Encadré 6-1 : Changements des modèles de précipitations en Asie (Source : adaptée d'USAID, 2010)

Une étude de l'USAID en 2010 a indiqué que les précipitations annuelles en Chine étaient en déclin depuis 1965, avec des moussons d'été plus fortes pendant les années globalement plus chaudes, et des moussons plus sèches pendant les années globalement plus fraîches. En Mongolie, l'étude a rapporté que les modèles pluviométriques ont été plus variables saisonnièrement, les précipitations automnales et hivernales augmentant de 4 à 9 % ces 60 dernières années, et les précipitations printanières et estivales diminuant de 7,5 à 10 %. En Inde, les pluies extrêmes pendant la mousson estivale ont augmenté au nord-ouest, alors que le

nombre de jours de pluie sur la côte est a diminué.

Le changement climatique a également exacerbé les sécheresses associées aux événements liés à El Niño, dont l'incidence s'est accrue en Indonésie, au Laos, aux Philippines, au Vietnam, aux Iles Salomon, et dans les Iles Marshall. Le rapport a noté que les zones côtières basses dans l'ensemble de la région sont très vulnérables aux inondations catastrophiques.

6.2.2 NEIGE ET GLACE TERRESTRE

Comme le résume Bates et al., (2008) section 2.3.2), l'AR4 a conclu que :

« Avec le réchauffement climatique, la couverture neigeuse devrait se contracter et diminuer, et les glaciers et les calottes glaciaires devraient perdre en masse, en conséquence de l'augmentation de la fonte estivale supérieure à l'augmentation des chutes de neige hivernales. Des augmentations étendues en profondeur de fonte sur une grande partie des régions de permafrost doivent survenir en réponse au réchauffement. »

Les modèles climatiques prévoient des réductions étendues de la couverture neigeuse tout au long du XXI^e siècle, qui ne sont pas compensées par les hausses prévues dans les chutes de neige à des altitudes supérieures. Elles sont significatives pour les latitudes élevées et les systèmes montagneux, mais également pour les systèmes hydrographiques alimentés par la neige et la glace.

6.2.3 EVAPOTRANSPIRATION

Le rapport AR4 a souligné que l'évaporation potentielle devrait augmenter dans presque toutes les parties du monde. Cela est dû à une hausse de la capacité de rétention d'eau de l'atmosphère dans le futur avec des températures supérieures, alors qu'il est prévu que l'humidité relative ne changera que légèrement.

Il est important de noter que bien que l'évaporation potentielle effective sur l'eau doive augmenter, des variations significatives sont vraisemblables sur la terre, selon les changements des précipitations et la demande atmosphérique. Cela entraînera des changements de l'équilibre hydrique régional du ruissellement, l'humidité du sol, l'eau dans les réservoirs, les niveaux d'eau souterraine et la salinisation des aquifères peu profonds (en combinaison avec la hausse du niveau des mers, voir chapitre 5).

6.2.4 FACTEURS AUTRES QUE LE CLIMAT

A côté des facteurs de changement climatique qui influenceront les futures ressources d'eau douce, il existe des facteurs non-climatiques du changement (GIEC

2007b ; Nations Unies 2003). Ils comprennent les influences des changements d'utilisations des terres, tels que la déforestation et l'augmentation de la demande en eau liée à l'urbanisation et à l'irrigation, la construction et la gestion des réservoirs, la pollution et le traitement des eaux usées. Les changements dans la population alimentent ces facteurs (en valeur absolue et en répartition régionale), ainsi que l'affluence, la consommation alimentaire, la politique économique (notamment le prix de l'eau), la technologie, le style de vie et également l'opinion des populations locales sur l'utilisation de l'eau douce, les bassins et les écosystèmes d'eau douce (Kundzewicz et al., 2007).

Par conséquent, les répercussions directes potentielles du changement climatique sur les ressources hydriques, présentées dans la section suivante, doivent être soigneusement considérées avec les facteurs non-climatiques socioéconomiques et biophysiques potentiels, en utilisant les méthodes et approches présentées dans le chapitre 3.

6.3 REPERCUSSIONS POTENTIELLES

6.3.1 HUMIDITE DES SOLS

Tout changement futur dans l'humidité du sol aura des implications importantes pour le ruissellement et le débit des cours d'eau (voir section 6.3.2), ainsi que la productivité agricole sur site (voir section 6.6.2 et chapitre 7).

Malheureusement, la compréhension actuelle des interactions des changements futurs de la température, des précipitations, de l'évaporation et de la végétation entraîne des difficultés de modélisation pour prédire les changements dans l'humidité du sol. Néanmoins, les modèles mondiaux de la teneur annuelle moyenne d'humidité du sol (

Figure 6-1b) montrent généralement :

- des diminutions dans les régions subtropicales et méditerranéennes ;
- des augmentations dans les régions de l'Afrique de l'Est, d'Asie centrale et d'autres régions subissant de fortes précipitations ;
- des diminutions surviennent également à des latitudes élevées, où la couverture neigeuse diminue.

6.3.2 CHANGEMENT DU RUISSELLEMENT ET DU DEBIT DES COURS D'EAU

Le chapitre de l'AR4 sur les ressources d'eau douce et leur gestion (Kundzewicz et al., 2007) a utilisé une suite de modèles climatiques globaux pour simuler le climat futur selon plusieurs scénarii d'émissions du GIEC. Ces études ont lié les simulations

climatiques à un modèle hydrologique à grande échelle pour examiner les changements du ruissellement de surface annuel moyen. Ces études ont observé que toutes les simulations donnent une augmentation moyenne mondiale des précipitations, mais présentent aussi des zones substantielles avec de grandes réductions du ruissellement. La moyenne mondiale des précipitations accrues ne se traduit donc pas directement en augmentations régionales de la disponibilité d'eau de surface et souterraine. Au contraire, on observe des variations régionales significatives du ruissellement qui nécessitent une analyse soignée.

6.3.3 IMPACTS HYDROLOGIQUES SUR LES ZONES COTIERES

L'AR4 (Nicholls et al., 2007) et Bates et al. (2008) identifient plusieurs répercussions majeures sur la hausse du niveau des mers et des régimes hydrologiques altérés sur les ressources hydriques dans la zone côtière. Elles comprennent notamment, sans toutefois s'y limiter :

- des inondations côtières causant la salinisation des eaux souterraines et des estuaires, entraînant une réduction de la disponibilité d'eau potable pour les hommes et les écosystèmes dans la zone côtière ;
- des changements dans le calendrier et le volume du ruissellement d'eau potable affectant la salinité, la disponibilité des sédiments et des nutriments, et les régimes d'humidité dans les écosystèmes côtiers ;
- des changements de la qualité de l'eau pouvant résulter de l'impact de la hausse du niveau des mers sur les opérations de drainage des eaux d'orage et l'élimination des égouts dans les zones côtières, et augmentent l'éventualité d'une intrusion d'eau saline dans les eaux souterraines potables ;
- une inondation accrue des marais côtiers entraînant le déplacement des espèces ;
- des changements du régime hydrologique entraînant éventuellement une érosion le long de la côte à cause d'une quantité altérée de sédiments ;
- des changements du zonage des espèces végétales et animales, ainsi que la disponibilité de l'eau potable pour les humains en conséquence de la salinité progressant en amont à cause d'une réduction du débit hydrique.

6.3.4 CHANGEMENTS DE LA QUALITE DE L'EAU

L'AR4 a observé que, dans les lacs et les réservoirs, les effets du changement climatique sur la qualité de l'eau sont principalement dus aux variations de la température de l'eau, qui résultent directement du changement climatique ou indirectement par une augmentation de la pollution thermique découlant de demandes accrues d'eau de refroidissement dans le secteur énergétique (Kundzewicz et al., 2007). Les intensités accrues des précipitations dans les zones montagneuses sont susceptibles d'augmenter l'érosion des sols, et un débit hydrique

accru augmenterait l'érosion des berges des rivières. L'effet combiné aurait pour conséquence d'augmenter la charge de sédiments et de nutriments dans les rivières et dans les réservoirs. Des températures accrues de l'eau et des changements des extrêmes, des inondations et sécheresses doivent affecter la qualité de l'eau et exacerber de nombreuses formes de pollution de l'eau due aux sédiments, nutriments, carbone organique dissous, pathogènes, pesticides et sel, ainsi que la pollution thermique (Bates et al., 2008).

D'autres modifications de la qualité de l'eau peuvent être attribuées directement à la hausse du niveau des mers, en particulier avec l'inondation directe des zones côtières basses impactant les systèmes d'eau potable et les infrastructures clés de ressources hydriques telles que les opérations de drainage des eaux d'orage, les installations d'assainissement et les réservoirs contenant de l'eau potable (Bates et al., 2008).

6.3.5 CHANGEMENTS DES EAUX SOUTERRAINES

En général, il existe deux types de ressources d'eaux souterraines – les eaux souterraines des aquifères peu profonds non confinés et les eaux souterraines des aquifères profonds confinés. Les eaux souterraines dans les aquifères non confinés sont directement liées aux processus hydrologiques près de la surface, notamment la recharge des précipitations et l'écoulement de base vers les rivières ; elles sont donc étroitement liées au cycle hydrologique complet, et peuvent être directement affectées par le changement climatique.

Les changements des eaux souterraines sont attribués aux changements des apports (principalement la recharge des eaux souterraines grâce aux précipitations, l'humidité du sol en dessous des racines des plantes et l'interaction entre les rivières et les eaux souterraines) et le retrait des eaux souterraines associé aux changements dans la demande d'eau et le niveau de dépendance des ressources des eaux souterraines.

La demande d'eaux souterraines est susceptible d'augmenter dans le futur. Cela est principalement dû à l'augmentation mondiale de l'utilisation de l'eau. Une autre raison peut être le besoin de compenser la disponibilité déclinante de l'eau de surface due à la hausse générale de la variabilité des précipitations, et les étiages estivaux réduits dans les bassins dominés par la neige (Kundzewicz et al., 2007). Dans de nombreuses communautés, les eaux souterraines sont la principale source d'eau pour les besoins d'irrigation, municipaux et industriels. Dans de nombreux endroits, l'extraction excessive d'aquifères non confinés entraîne un niveau de réduction de la nappe phréatique, le taux d'extraction étant supérieur au taux de recharge. En fait, les aquifères non confinés sont souvent considérés comme faisant partie de la même ressource que l'eau de surface, étant donné qu'ils sont reliés hydrauliquement. Les changements climatiques peuvent donc directement affecter ces taux de recharge et la durabilité des eaux souterraines renouvelables. Les alimentations en eaux souterraines dans les aquifères confinés proviennent généralement des sédiments géologiques profonds déposés il y a longtemps et ont donc peu de liens avec le climat. Cependant, ces ressources d'eaux souterraines

peuvent décliner en conséquence indirecte de l'extraction accrue pour compenser les ressources hydriques déclinantes en surface.

Le changement climatique est également susceptible d'avoir un impact fort sur l'intrusion d'eau salée dans les aquifères, ainsi que sur la salinisation des eaux souterraines due à un accroissement de l'évapotranspiration. La hausse du niveau des mers entraîne l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines potables dans les aquifères côtiers et affecte donc négativement les ressources en eaux souterraines potables (Kundzewicz et al., 2007).

6.3.6 CHANGEMENTS DE LA DEMANDE ET DE L'ALIMENTATION EN EAU, ET DE L'ASSAINISSEMENT

Le changement climatique pourrait causer des problèmes croissants dans la fourniture de services relatifs à l'eau, en particulier dans les pays en voie de développement (Kundzewicz et al., 2007). Plusieurs raisons existent pour cela, certaines d'entre elles n'étant pas nécessairement liées au changement climatique. Divers facteurs posent déjà des difficultés importantes pour fournir des services satisfaisants en ce qui concerne l'eau ; ils comprennent sans toutefois s'y limiter :

- un manque existant d'eau potable adéquate ;
- le coût élevé de distribution de l'eau à des logements éparpillés ;
- une demande en eau accrue et plus répartie spatialement en conséquence de la croissance de la population dans des zones concentrées ;
- une augmentation de l'urbanisation et l'augmentation associée de l'utilisation de l'eau par tête et de la pollution de l'eau ;
- une utilisation publique plus intense de l'eau ;
- la gouvernance de l'eau – affectations à l'industrie, à l'agriculture, au secteur public et à l'environnement.

A la lumière des facteurs ci-dessus, il peut être observé que des difficultés importantes sont déjà présentes dans le secteur des services relatifs à l'eau. Dans ce contexte, le changement climatique représente un fardeau supplémentaire pour les réseaux publics d'eau, ou pour toute autre partie impliquée dans la fourniture de services relatifs à l'eau. Les effets observés du changement climatique et ses répercussions potentielles sur les services relatifs à l'eau sont présentés ci-dessous dans le Tableau 6-2.

Tableau 6-2 : Effets observés du changement climatique et ses répercussions observées/possibles sur les services relatifs à l'eau. (Source : Kundzewicz et al., 2007)

Effet observé	Répercussions observées/possibles
---------------	-----------------------------------

Augmentation de la température atmosphérique

- Réduction de la disponibilité de l'eau dans les bassins alimentés par les glaciers qui rétrécissent, observée dans certaines villes dans les Andes en Amérique latine (Ames, 1998; Kaser et Osmaston, 2002)

Augmentation de la température des eaux de surface

- Réductions de la teneur en oxygène dissous, des modes de mélange et de la capacité d'auto-purification
- Augmentation de la prolifération des algues

Élévation du niveau de la mer

- Salinisation des aquifères côtiers

Modification des modèles de précipitation

- Changements de la disponibilité de l'eau dus aux modifications des précipitations et à d'autres phénomènes connexes (par exemple, recharge des eaux souterraines, évapotranspiration)

Augmentation de la variabilité interannuelle des précipitations

- Augmente la difficulté du contrôle des inondations et de l'utilisation des réservoirs pendant la saison des inondations

Evapotranspiration accrue

- Réduction de la disponibilité de l'eau
- Salinisation des ressources hydriques
- Niveaux inférieurs des eaux souterraines

Événements extrêmes plus fréquents et plus intenses

- Les inondations affectent la qualité de l'eau et l'intégrité de l'infrastructure hydrique, et augmentent l'érosion fluviale, ce qui introduit différentes sortes de polluants dans les ressources hydriques
- Les sécheresses affectent la disponibilité de l'eau et sa qualité

6.4 RESUME DE LA SITUATION

« Les historiques d'observations et les projections climatiques fournissent des preuves abondantes que les ressources en eau potable sont vulnérables, et qu'elles peuvent être fortement impactées par le changement climatique, avec des conséquences étendues pour les sociétés humaines et les écosystèmes » (Bates et al., 2008).

La section précédente suggère un éventail de changements hydrologiques attendus en conséquence du changement climatique. Les problèmes et les répercussions principaux de chacun des changements hydrologiques attendus sont résumés dans le Tableau 6-3 ci-dessous.

Tableau 6-3 : Résumé des implications hydrologiques attendues du changement climatique

Processus/sous-secteur	Problèmes et répercussions majeurs
Humidité des sols	<ul style="list-style-type: none">• Diminutions dans les régions subtropicales et méditerranéennes• Augmentations dans les régions de l'Afrique de l'Est, d'Asie centrale et d'autres régions subissant de fortes précipitations• Des diminutions surviennent également à des latitudes élevées, où la couverture neigeuse diminue.
Changement du ruissellement et du débit des cours d'eau	<ul style="list-style-type: none">• Variations régionales importantes du ruissellement et du débit des cours d'eau• Ruissellement réduit dans le sud de l'Europe• Ruissellement plus important en Asie du sud-est• Augmentation du débit des cours d'eau dans les régions septentrionales• Le débit des cours d'eau au Moyen Orient, en Europe et en Amérique centrale a tendance à diminuer
Zones côtières	<ul style="list-style-type: none">• Inondations et inondations côtières accrues, entraînant la salinisation des eaux souterraines et des estuaires• Changements dans le calendrier et le volume du ruissellement d'eau potable affectant la salinité, la disponibilité des sédiments et des nutriments• Des changements de la qualité de l'eau peuvent résulter de l'impact de la hausse du niveau des mers sur les opérations de drainage des eaux d'orage et l'élimination des égouts dans les zones côtières• Des changements du zonage des espèces végétales et animales, ainsi que la disponibilité de l'eau potable pour les humains en conséquence de la salinité progressant en amont à

cause d'une réduction du débit hydrique.

Qualité de l'eau

- Des températures de l'eau plus élevées pourraient exacerber de nombreuses formes de pollution
- Des changements des inondations et des sécheresses peuvent affecter la qualité de l'eau par l'intermédiaire des sédiments, des nutriments, du carbone organique dissous, des pathogènes, des pesticides et du sel
- La hausse du niveau des mers est prévue pour étendre les zones de salinisation des eaux souterraines et des estuaires

Eau souterraine

- Variabilité de l'eau de surface directement liée à la variabilité de l'eau souterraine dans les aquifères non confinés
- Une utilisation accrue due à la croissance de la population et à une disponibilité réduite de l'eau de surface entraînera vraisemblablement un déclin des niveaux des eaux souterraines

Demande, approvisionnement et assainissement

- Le changement climatique ajoutera vraisemblablement des contraintes supplémentaires aux problèmes liés aux services hydriques, notamment : l'approvisionnement, la demande et la gouvernance

6.5 METHODES, OUTILS ET EXIGENCES RELATIVES AUX DONNEES

6.5.1 CONSIDERATIONS D'ORDRE GENERAL

Le changement climatique compliquera les pratiques existantes de gestion de l'eau, en particulier dans les pays ayant une expérience moindre de l'intégration de l'incertitude dans la planification de l'eau et des ressources financières et institutionnelles limitées. Le défi actuel consiste à intégrer les scénarii du changement climatique (notamment leurs incertitudes) avec les autres types d'incertitude généralement traités dans les processus de planification de l'eau.

Une pierre angulaire de l'analyse du changement climatique dans le processus de planification de l'eau est l'utilisation de la simulation hydrologique pour étudier l'effet d'un climat changeant sur le processus des précipitations et du ruissellement et en variabilité temporelle et spatiale dans la demande de l'eau.

Les modèles hydrologiques capturent les mécanismes physiques de la production de ruissellement dans le paysage en caractérisant les précipitations sur la surface des

terres, directement ou par la fonte des neiges, et la séparation de cette eau en évapotranspiration, en ruissellement vers les rivières et en recharge des eaux souterraines. Les modèles de planification et d'évaluation de l'eau utilisent ensuite ces flux d'eau pour déterminer les stratégies de gestion des réservoirs et d'approvisionnement d'eau, souvent dans un cadre réglementaire bien défini.

Il existe essentiellement deux approches pour l'évaluation des répercussions potentielles du changement climatique sur les ressources hydriques : « descendante » ou « ascendante » (voir le chapitre 2 pour plus d'informations sur les cadres de V&A).

L'approche descendante commence généralement en établissant la crédibilité scientifique du réchauffement climatique causé par l'homme, développe des scénarii climatiques futurs devant être utilisés au niveau régional, puis impose ces changements potentiels aux systèmes des ressources hydriques à évaluer, par exemple la fiabilité du système.

Les problèmes avec une approche descendante sont les suivants :

- elle ne traite pas toujours les besoins particuliers d'une région ;
- l'approche peut devenir s'embourber dans l'incertitude des projections climatiques futures.

En variante, l'approche ascendante commence par identifier les vulnérabilités les plus critiques du secteur de l'eau, souvent par l'analyse des sensibilités majeures du système pour détailler les causes de ces vulnérabilités ; suggère comment le changement climatique, la variabilité climatique et les extrêmes climatiques peuvent exacerber ou pas ces vulnérabilités ; enfin, conçoit un processus analytique pour mieux traiter et résoudre la vulnérabilité au vu de l'incertitude climatique (par exemple une approche préventive).

Que l'on utilise une approche descendante ou ascendante, l'IWRM peut être l'approche la plus efficace pour évaluer les options d'adaptation et leurs implications dans le contexte d'un environnement réglementaire évolutif avec ses demandes concurrentes, ainsi que cela est présenté dans la section suivante.

6.5.2 APPROCHE INTEGREE DE LA GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

L'IWRM est une approche systématique de la planification et de la gestion qui tient compte de plusieurs processus et actions des ressources hydriques côté approvisionnement et côté demande, et intègre la participation des parties prenantes dans les processus de prise de décision. Elle facilite également la gestion adaptative en contrôlant et en révisant en continu les situations des ressources hydriques.

Définition de termes



Le Partenariat mondial de l'eau définit l'IWRM comme un processus qui fait la promotion d'un développement et d'une gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, afin d'optimiser la richesse économique et sociale résultante de manière équitable sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux

L'évaluation des ressources hydriques est définie comme la « détermination des sources, l'étendue, la fiabilité et la qualité des ressources hydriques pour leur utilisation et leur contrôle ». L'objet de l'évaluation des ressources hydriques est d'aider à clarifier les questions suivantes :

- l'état actuel des ressources hydriques à différentes échelles, y compris la variabilité inter- et intra-annuelle
- l'utilisation actuelle de l'eau (y compris la variabilité), et les compensations sociétales et environnementales résultantes
- les externalités liées à l'échelle, en particulier lorsque les modèles d'utilisation de l'eau sont considérés à plusieurs échelles temporelles et spatiales
- les facteurs sociaux et institutionnels affectant l'accès à l'eau et leur fiabilité
- les opportunités d'économie ou d'augmentation de la productivité, de l'efficacité et/ou de l'équité
- l'efficacité et la transparence des politiques existantes relatives à l'eau et des processus de prise de décision
- les conflits entre les éléments d'information existants, et la précision globale des statistiques du secteur public (et autres)

La Planification intégrée des ressources hydriques (IWRP) est une forme complète de planification qui couvre les analyses de moindre coût du côté de la demande et les options de gestion du côté de l'approvisionnement, ainsi que : un processus de prise de décision ouvert et participatif ; le développement de ressources hydriques alternatives tenant compte de la qualité de vie de la communauté et des questions environnementales qui peuvent être impactées par la décision finale ; et la reconnaissance des multiples institutions concernées par les ressources hydriques et objectifs politiques concurrents entre eux. L'IWRP essaie de prendre en compte tous les coûts et bénéfices directs et indirects de la gestion de la demande, la gestion de l'approvisionnement et l'augmentation de l'approvisionnement en utilisant des scénarii alternatifs de planification, des analyses entre disciplines, l'implication de la communauté dans la planification, les processus de prise de décision et de mise en œuvre, et la considération d'autres avantages sociétaux et environnementaux.

Le processus de planification comprend des méthodes de planification pour identifier les moyens les plus efficaces d'atteindre les objectifs tout en considérant les coûts des répercussions du projet sur d'autres objectifs communautaires et de gestion de l'environnement. Ces méthodes de planification nécessitent particulièrement l'évaluation de tous les avantages et de tous les coûts, notamment les coûts évités et les coûts liés au cycle de vie (AWWA, 2001)

Les approches de l'IWRM comportent les éléments suivants qui contribuent à une gestion de l'eau plus efficace (PNUE, 2012) :

- C'est une approche pragmatique vers une gestion de l'eau optimisée et plus durable ;
- C'est un processus qui promeut le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux ;
- Ce n'est pas un plan à échéance pour guider un pays dans l'utilisation et la gestion de ses ressources hydriques avec des objectifs et des jalons clairement identifiés ;
- Il ne nécessite pas que toutes les actions soient totalement intégrées et gérées par un organisme majeur qui remplace les nombreux acteurs dans le secteur de l'eau ;
- Il concerne les parties prenantes qui trouvent des façons de coordonner et de traiter les problèmes de coordination dans la gestion des ressources hydriques.

Afin de capturer les processus et les actions du côté de l'approvisionnement et de la demande, IWRM doit traiter simultanément les deux systèmes distincts qui forment le paysage de la gestion de l'eau, c'est-à-dire :

- Système biophysique : les facteurs concernant le système biophysique – c'est-à-dire le climat, la topographie, l'occupation des terres, l'eau de surface, l'hydrologie, l'hydrologie des eaux souterraines, les sols, la qualité de l'eau et les écosystèmes – forment la disponibilité de l'eau et son mouvement à travers un bassin ;
- Système socioéconomique : les facteurs concernant le système de gestion socioéconomique indiquent la façon dont l'eau disponible est stockée, allouée, régulée et livrée dans ou sur les limites de bassin.

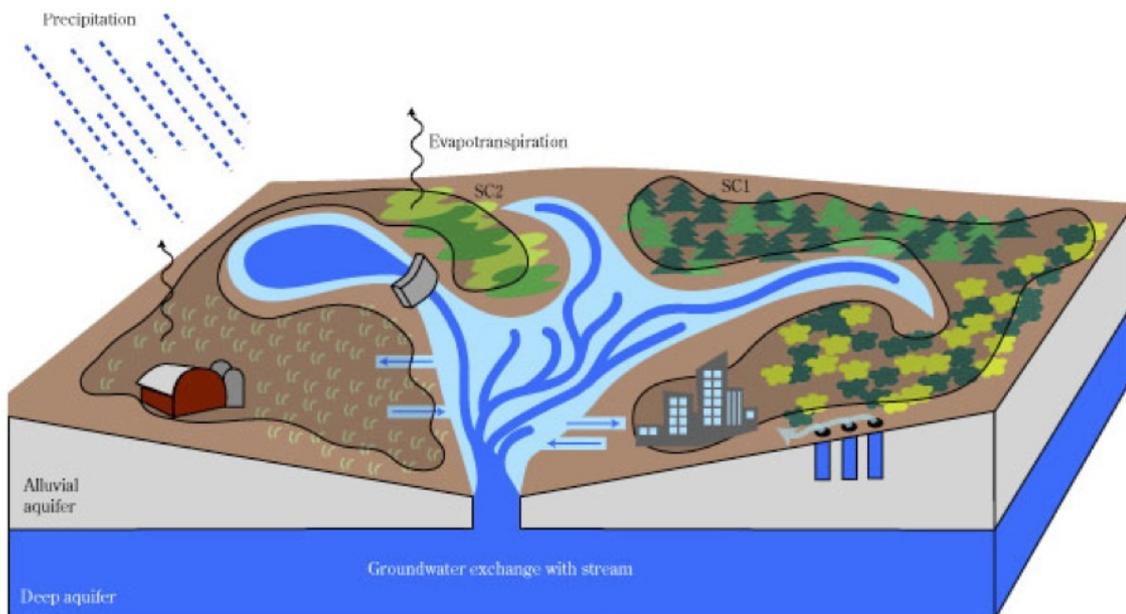
De plus en plus, les objectifs opérationnels du système de gestion cherchent à équilibrer l'eau pour les besoins d'utilisation de l'homme et pour l'environnement. Ainsi, une analyse intégrée des systèmes naturels et gérés est probablement l'approche la plus utilisée pour traiter la façon dont les changements climatiques affecteront ce système naturel-social combiné.

Ce type d'analyse est basé sur des outils de modélisation hydrologique qui simulent les processus physiques, notamment les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les flux d'eaux souterraines (voir la Tableau 6-3). Dans les systèmes gérés, les analystes doivent également tenir compte du fonctionnement des structures hydrauliques, telles que les barrages et les déviations, ainsi que des facteurs institutionnels qui régissent l'affectation de l'eau entre les demandes concurrentes, notamment la demande de consommation pour l'approvisionnement d'eau agricole ou urbaine ou les demandes hors consommation pour la génération hydroélectrique ou la protection des écosystèmes. Etant donné que la qualité de l'eau change également avec le changement climatique, une attention particulière doit également être portée aux changements de la qualité de l'eau. Ces changements peuvent entraîner des restrictions accrues des prélèvements d'eau

pour maintenir la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes. Les changements affectant chacun de ces éléments peuvent influencer les répercussions finales du changement climatique sur les ressources hydriques.

Bien que des modèles hydrologiques différents puissent donner des valeurs différentes pour les débits des cours d'eau, la recharge des eaux souterraines, les résultats de la qualité de l'eau, etc. (Boorman et Sefton, 1997 ; Beven, 2004), leurs différences ont été historiquement faibles en comparaison avec les incertitudes attribuées au changement climatique reflétées dans les différences entre les sorties des modèles de circulation générale (MCG). Cependant, l'enchaînement des effets, de la réponse climatique à la réponse hydrologique, des systèmes des ressources hydriques aux répercussions effectives sur l'approvisionnement d'eau, la production électrique, la navigation, la qualité de l'eau, etc., dépend de nombreux facteurs ayant chacun un niveau différent d'incertitude qui doit être traité de façon transparente dans les évaluations des répercussions. (Le chapitre 4 traite des options pour créer les scénarii de changement climatique)

Figure 6-2 : Interface entre les systèmes de bassins naturels et gérés



6.5.3 EVALUATION INTEGREE DES RESSOURCES HYDRIQUES, MODELES DE PLANIFICATION ET DE GESTION

Il existe plusieurs modèles et outils disponibles pour l'évaluation, la planification et la gestion intégrées des ressources hydriques, qui peuvent être divisés en deux catégories générales :

- En premier lieu, il existe des modèles destinés à simuler le processus hydrologique physique dans un bassin. Ces modèles utilisent souvent des méthodes numériques complexes pour déterminer des estimations des débits maximaux des cours d'eau et des niveaux d'inondation sur la base d'un

ensemble de paramètres d'entrée qui représentent les caractéristiques du bassin. Ces modèles nécessitent généralement une quantité importante de données d'observation afin d'obtenir l'étalonnage et la validation du modèle ;

- La deuxième catégorie générale de modèles comprend ceux qui représentent la disponibilité temporelle et spatiale de l'eau entre différentes utilisations dans un bassin particulier, une région ou une zone définie politiquement.

Plusieurs ensembles de modélisation sont disponibles, qui intègrent la simulation du processus physique ainsi que les problèmes de gestion de l'eau. Les modèles vont des modèles simples unidimensionnels disponibles gratuitement aux ensembles de simulation tridimensionnels plus avancés (et chers).

Un grand nombre de modèles commerciaux sont disponibles pour une application dans la gestion des ressources hydriques, beaucoup de ces modèles étant résumés dans le recueil de la CCNUCC sur les méthodes et les outils pour évaluer les répercussions du changement climatique et la vulnérabilité à ce dernier.³ La boîte à outils du Partenariat mondial de l'eau (Global Water Partnership, GWP) sur la gestion des ressources hydriques intégrée contient également des résumés des méthodes et des outils.⁴ Une sélection de ces modèles est résumée dans le Tableau 6-4.

Tableau 6-4 : Modèles IWRM sélectionnés

Modèle	Source	Licence et formation	Description	Lien
WEAP21	Stockholm Environment Institute (SEI)	Gratuit pour les pays en voie de développement Ateliers de formation réguliers	WEAP (Water Evaluation and Planning System) est un outil de simulation des ressources hydriques de surface et des eaux souterraines basé sur les principes comptables d'équilibre de l'eau, qui peut tester des ensembles alternatifs de conditions pour l'approvisionnement et la demande	http://www.weap21.org/

³ Le recueil est disponible en téléchargement à l'adresse : http://unfccc.int/adaptation/nairobi_workprogramme/knowledge_resources_and_publications/items/5457.php.

⁴ <http://gwptoolbox.org/>.

RiverWare	Center for Advanced Decision Support for Water and Environmental Systems : université du Colorado	Licence requise, assistance technique disponible	RiverWare est un modèle de simulation et d'optimisation de réservoir et de bassin de rivière utilisé pour évaluer la politique d'exploitation, l'optimisation du système, la comptabilité de l'eau, l'administration des droits à l'eau et la planification des ressources à long terme	< http://cadswes.colorado.edu/riverware/ >
SWAT	US Agriculture Department (USDA)	Gratuite Ateliers de formation réguliers	SWAT (Soil and Water Assessment Tool - outil d'évaluation des sols et de l'eau) est un modèle à l'échelle des bassins de rivière conçu pour quantifier l'impact des pratiques de la gestion des terres dans de grands bassins complexes	< http://swatmodel.tamu.edu/ >
HEC-HMS	US Army Corps of Engineers (Corps des ingénieurs de l'armée américaine)	Gratuite Assistance technique uniquement pour les clients USACE Ateliers de formation réguliers	HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System) est un modèle conçu pour simuler le processus de précipitations–ruissellement de systèmes de bassins dendritiques	< http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/ >
USGS MMS-PRMS	US Geological Survey	Gratuite Ateliers de formation disponibles par l'intermédiaire de l'USGS	PRMS (Precipitation Runoff Modelling System) est un modèle de bassin de processus physique développé pour évaluer les effets de diverses combinaisons de précipitations, climats et occupation des sols sur la réponse des bassins	< http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/software/oui_and_mms/prms.shtml >

MIKE-SHE	Danish Hydraulic Institute (DHI)	Licence requise Ateliers de formation réguliers au niveau international	MIKE-SHE est un système avancé de modélisation hydrologique intégrée. Il simule le débit d'eau dans l'ensemble de la phase terrestre du cycle hydrologique, des précipitations au courant du cours d'eau, par divers processus d'écoulement tels que le ruissellement, l'infiltration dans les sols, l'évapotranspiration de la végétation, et le débit des eaux souterraines	< http://mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx >
HYMOS	Deltares (Dutch Institute for National and International Delta Issues)	Licence requise Ateliers de formation réguliers	HYMOS est un système d'information pour la gestion des ressources hydriques en général. Il comprend tous les besoins de stockage des données et de traitement pour l'analyse, la planification, la conception et l'utilisation des systèmes de gestion de l'eau	< http://www.wldelft.nl/soft/hymos/int/index.html >
HEC-RAS	US Army Corps of Engineers (Corps des ingénieurs de l'armée américaine)	Gratuite Assistance technique uniquement pour les clients USACE Ateliers de formation réguliers	HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) est un modèle développé pour quantifier le débit régulier unidimensionnel, le débit irrégulier, les calculs de transport des sédiments/lit mobile, et la modélisation de la température de l'eau	< http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/ >
MIKE21	DHI	Licence requise Ateliers de formation réguliers au niveau international	MIKE21 est un modèle bidimensionnel conçu pour simuler l'hydrodynamique côtière et estuarienne, le transport des sédiments, les vagues et les systèmes écologiques	< http://www.dhisoftware.com/ >

Delft3D	Deltares	Licence requise Ateliers de formation réguliers	Delt3D est un modèle tridimensionnel conçu pour étudier l'hydrodynamique, le transport et la morphologie des sédiments et la qualité de l'eau dans l'environnement fluvial, estuarien et côtier	< http://www.deltar essystems.com/h ydro >
Aquarius	USDA	Gratuite Séminaires organisés aux Etats-Unis	Aquarius est un cadre d'analyse illustrant l'affectation temporelle et spatiale des courants d'eau entre les usages d'eau simultanés traditionnel et non-traditionnel concurrents dans un bassin de rivière	< http://www.fs.fed .us/rm/value/aqua rius >
RIBASIM	Deltares	Licence requise Ateliers de formation réguliers	RIBASIM est un ensemble de modèles général pour simuler le comportement des bassins de rivière dans diverses conditions hydrologiques pour les systèmes d'eau de surface et d'eaux souterraines	< http://www.wldel ft.nl/soft/ribasim/in t/index.html >
MIKE BASIN	DHI	Licence requise Ateliers de formation réguliers au niveau international	MIKE BASIN est un outil destiné à traiter l'affectation de l'eau, son utilisation conjointe, le fonctionnement des réservoirs, ou les problèmes liés à la qualité de l'eau	< http://www.dhiso ftware.com/ >
HEC-ResSim	US Army Corps of Engineers (Corps des ingénieurs de l'armée américaine)	Gratuite Assistance technique uniquement pour les clients USACE Ateliers de formation réguliers	HEC-ResSim (Hydrologic Engineering Centre-Reservoir System Simulation) est un modèle de gestion de l'eau conçu pour simuler le fonctionnement des réservoirs sur un ou plusieurs réservoirs dont le fonctionnement est défini par divers objectifs et contraintes d'utilisation	< http://www.hec.u sace.army.mil/soft ware/hec- ressim/ >

Chacun des modèles ci-dessus peut être utilisé dans différentes situations pour supporter l'IWRM dans un contexte de changement climatique. Plusieurs facteurs, notamment le coût, la capacité technique, l'accès aux ressources de formation, la qualité désirée de la sortie des modèles et les exigences des données d'entrée,

déterminent l'utilisation d'un modèle particulier. Deux guides utiles pour soutenir l'IWRM en particulier dans un contexte de changement climatique sont présentés dans le Tableau 6-5.

Tableau 6-5 : Ressources supplémentaires

Ressource	Source	Description	Lien
IWRM as a Tool for Adaptation to Climate Change: Training Manual and Facilitator's Guide	UNDP-Cap Net	Matériel de formation fournissant une introduction à l'IWRM comme instrument pour l'adaptation au changement climatique. Fournit également des liens vers les centres de ressources nationaux qui offrent des services d'éducation, de formation, de recherche et de conseil dans le domaine de l'eau	http://www.cap-net.org/node/1628
How to integrate climate change adaptation into national-level policy and planning in the water sector	Tearfund International	Guide pratique pour les gouvernements des pays en voie de développement pour intégrer la résistance et l'adaptation dans leurs secteurs hydriques	http://tilz.tearfund.org/Research/Water+and+Sanitation+reports/Water+adaptation+guide.htm

Les matériels de formation sont concentrés davantage sur la modélisation de la gestion des ressources hydriques, qui peut être utilisée pour étudier les problèmes d'approvisionnement et de demande de l'eau sur des horizons de planification à long terme, selon les projections de changement climatique. Ainsi que cela est présenté dans le Tableau 6-4 plusieurs modèles de gestion des ressources hydriques peuvent être utilisés pour soutenir le développement des communications nationales. Le WEAP21 (voir l'encadré 6-1 ci-dessous) est un outil utile qui a été utilisé dans les communications nationales et fournit une approche intégrée de la planification des ressources hydriques. En général, les autres modèles présentés dans le Tableau 6-4 sont utilisés pour générer des données très spécifiques pour un composant de la modélisation des ressources hydriques.

Encadré 6-1 : Modèle d'évaluation et de planification hydrique – Version 21 (WEAP21)

Le WEAP21¹ est un logiciel qui utilise une approche intégrée de la planification des ressources hydriques. Il a connu une série de développements au cours de ses 20 années de vie. Le WEAP21 essaie de combler le vide entre la gestion de l'eau et l'hydrologie du bassin, et l'exigence qu'un modèle intégré et efficace sur les ressources hydriques soit utile, facile à utiliser, abordable et facilement disponible pour la communauté étendue des ressources hydriques. Le WEAP21 intègre plusieurs processus hydrologiques physiques avec la gestion des demandes et des infrastructures installées de manière cohérente. Il permet une analyse de plusieurs scénarii, notamment les scénarii climatique alternatifs et les facteurs de stress anthropogènes évolutifs, tels que les variations de l'utilisation des terres, les changements de la demande municipale et industrielle, les règles alternatives d'exploitation et les changements des points de déviation. La force du WEAP21 réside dans le traitement des problèmes de planification de l'eau et d'affectation des ressources et, il est important de noter qu'il n'est pas conçu pour être un modèle détaillé d'exploitation de l'eau pouvant être utilisé pour optimiser l'énergie hydraulique sur la base de prévisions hydrologiques, par exemple.

Le système de gestion dans le système d'aide à la décision (DSS) de WEAP21 est décrit par une priorité des demandes définies par l'utilisateur et des préférences d'approvisionnement fixées pour chaque site de demande et utilisées pour construire une routine d'optimisation qui affecte les fournitures disponibles (Yates et al., 2005a, 2005b). Les demandes sont définies par l'utilisateur, mais comprennent généralement la demande municipale et industrielle, les parties irriguées des sous-bassins et les besoins de flux environnementaux. L'analyse de la demande dans le WEAP21 qui n'est pas couverte par la demande d'irrigation basée sur l'évapotranspiration suit une approche désagrégée, basée sur l'utilisation finale, pour déterminer les besoins en eau de chaque nœud de demande. Les informations économiques, démographiques et d'utilisation de l'eau sont utilisées pour construire des scénarii alternatifs qui examinent la façon dont la consommation totale et désagrégée de l'eau évolue au fil du temps. Ces scénarii de demande sont calculés dans le WEAP21 et appliqués de façon déterministe à un algorithme d'affectation basé sur un programme linéaire. L'analyse de la demande est le point de départ pour conduire une analyse intégrée de la planification de l'eau, étant donné que tous les calculs d'approvisionnement et de ressource dans le WEAP21 sont menés par la routine d'optimisation qui détermine la livraison finale à chaque nœud de demande, selon les priorités spécifiées par l'utilisateur.

Il est important de noter qu'il existe une suite d'assistance en ligne et de documents de formation, notamment des tutoriels en anglais, chinois, espagnol, français et farsi et un forum de discussion en ligne (en anglais). Il existe également une liste étendue de publications couvrant son application dans plusieurs contextes de planification de l'eau, notamment des études spécifiques des répercussions et de l'adaptation au changement climatique, nombre d'entre elles pouvant être téléchargées à partir du site internet de WEAP.² Il existe également des cours de formation réguliers et un réseau de départements universitaires qui englobent le WEAP21 dans leur cursus, et ont par conséquent une expertise nationale du logiciel.

¹ <<http://www.weap21.org/>>.

² <<http://www.weap21.org/index.asp?doc=16>>.

6.5.4 EXIGENCES RELATIVES AUX DONNEES

Les modèles de planification des ressources hydriques nécessitent des données sur la demande d'eau et l'approvisionnement d'eau (voir Tableau 6-6). Les informations sur la demande d'eau doivent généralement provenir de sources locales – notamment les taux domestiques d'utilisation de l'eau par personne, et les taux d'utilisation industrielle et commerciale de l'eau. Les taux communs d'utilisation de l'eau peuvent être obtenus auprès des organismes nationaux de planification de l'eau, ou dans les documents si nécessaire. Les besoins d'irrigation peuvent être déterminés à partir des connaissances locales concernant les cultures et autres pratiques agricoles et le climat, auprès des services nationaux relatifs à l'agriculture et/ou la gestion des ressources. Les données sur les besoins d'eau de refroidissement pour les centrales thermiques et les besoins d'intégration pour la navigation, les loisirs et l'énergie hydroélectrique sont généralement disponibles auprès des utilisateurs. Les données sur les besoins de l'écosystème sont disponibles auprès des organismes environnementaux.

Tableau 6-6 : Sources sur les données sur les ressources hydriques

Source	Description	Lien
AQUASTAT (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)	Fournit des informations complètes sur l'état de la gestion de l'eau dans l'agriculture dans le monde, avec un accent sur les pays en voie de développement et les pays en transition	< http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm >
The Worlds Water (Pacific Institute)	Fournit des informations actualisées, des données, et des liens internet sur les ressources mondiales d'eau potable	< http://www.worldwater.org/data.html >
Statistiques UN-Water	Fournit des statistiques sur les indicateurs clé pour le secteur de l'eau qui peuvent être utilisés au niveau mondial, régional et national	< http://www.unwater.org/statistics.html >
Données sur l'eau et la recherche de la Banque Mondiale	Fournit des statistiques et des données sur le développement du secteur de l'eau dans les pays dans le monde	< http://water.worldbank.org/water/data-and-research >
UN-Stats (Indicateurs sur	Fournit des statistiques actualisées sur l'approvisionnement d'eau et	< http://unstats.un.org/unsd/mographic/products/socind/wat >

l'approvisionnement d'eau et l'assainissement)	l'assainissement à un niveau national	san.htm >
UN GEMS Water	Fournit des données et des informations sur l'état et les tendances de la qualité de l'eau dans les terres au niveau mondial requises à titre de base pour une gestion durable de l'eau potable mondiale	< http://www.gemswater.org/ >
Portail de données GEO du PNUE	Permet d'accéder aux ensembles de données utilisés par le Programme des Nations Unies pour l'environnement et ses partenaires dans ses évaluations environnementales intégrées.	< http://geodata.grid.unep.ch/ >
EOS WEBSTER de l'université de New Hampshire	Système basé sur internet pour la recherche des écosystèmes terrestres, bibliothèque numérique de données des sciences de la terre.	< http://eos-webster.sr.unh.edu/home.jsp;jsessionid=A3250C421AD159A333D360E37079AFB2 >
Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)	Programme de recherche intégré, d'observations et d'activités scientifiques sur la prévision du changement climatique mondial et régional.	< http://www.gewex.org/ >
Global Change Master Directory (GCMD)	Fournit des descriptions des ensembles de données scientifiques sur la Terre et des services relatifs aux recherches sur le changement mondial.	< http://gcmd.nasa.gov/ >
Global Hydrology Resource Centre (GHRC)	Fournit à la fois des données, des informations, et des produits scientifiques actuels et historiques sur la terre, provenant de satellites, de capteurs aériens, et d'instruments au sol.	< http://ghrc.msfc.nasa.gov/ >
Global Hydrology Resource Centre (GHRC)	Collecte et divulgue des données de débit des cours d'eau à l'échelle mondiale, régionale ou du bassin, sous les auspices de l'Organisation	< http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html >



	météorologique mondiale (OMM).	
International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC)	Divulgue des informations et des connaissances sur les eaux souterraines avec le développement d'un système mondial d'informations sur les eaux souterraines.	< http://www.un-igrac.org/ >
National Climatic Data Center	Archive mondiale la plus importante concernant les données météorologiques.	< www.ncdc.noaa.gov/ >
World Hydrological Cycle Observing System (WYCOS) WMO	A pour objet d'améliorer les activités d'observation de base, renforcer la coopération internationale et promouvoir le libre échange de données dans le domaine de l'hydrologie.	< http://www.whycos.org/rubrique.php3?id_rubrique=2 >

Les données sur l'approvisionnement en eau peuvent être partagées sous forme de série temporelle de courants de cours d'eau ou de disponibilité des eaux souterraines (en se souvenant que dans de nombreux cas, l'eau de surface et les eaux souterraines sont interconnectées) ou générées à partir de modèles hydrologiques physiques ou de bassin selon l'utilisation des terres, la topographie et la géologie, et sur des données climatiques, telles que les précipitations, la température, l'humidité et la vitesse du vent. La modélisation nécessite généralement des séries temporelles de ruissellement et de disponibilité des eaux souterraines avec un pas minimal d'un mois. Une fois les débits naturels déterminés, des ajustements de la disponibilité doivent être effectués selon l'infrastructure hydrique, telle que les réservoirs, les puits, les réseaux de transmission, et les installations de traitement de l'eau.

6.6 ADAPTATION

6.6.1 OPTIONS D'ADAPTATION

« La gestion de l'eau est une composante critique qui doit s'adapter aux pressions climatique et socioéconomique au cours des décennies à venir. Les changements observés dans l'utilisation de l'eau seront suscités par les effets combinés des changements de la disponibilité de l'eau, des changements des besoins des terres en eau, ainsi que d'autres secteurs concurrents, notamment les villes, et les changements de la gestion de l'eau. » (Bates et al., 2008).

L'adaptation au changement climatique est composée de stratégies qui tiennent compte explicitement du changement climatique et de la variabilité et/ou de celles qui améliorent la résistance au changement climatique. Les adaptations peuvent se concentrer sur la réduction de l'exposition et de la sensibilité ou sur l'augmentation de la capacité d'adaptation, ou les deux (voir tableau 6-6). Exemples de stratégies améliorant la résistance (Wilk et Wittgren 2009) :

- Systèmes innovants de récupération de l'eau pour compléter l'approvisionnement d'eau des ménages et les pratiques d'irrigation ;
- Restauration d'installations d'irrigation obsolètes ou mal entretenues pour améliorer le rendement de l'eau et l'équité d'accès ;
- Entretien et création de zones humides pour piéger les nutriments et fournir des aliments pour la population, et du fourrage pour le bétail.

Les options d'adaptation qui augmentent la résistance des personnes et des écosystèmes en améliorant l'accès à l'eau et aux services d'écosystème comprennent celles qui peuvent simultanément réduire la vulnérabilité vis-à-vis de plusieurs facteurs de stress, y compris la variabilité climatique actuelle et le changement climatique futur, la mondialisation, l'urbanisation, la dégradation de l'environnement, les flambées de maladies et les incertitudes du marché.

Tableau 6-6 : Mesures d'adaptation pour réduire l'exposition et la sensibilité (Source : USAID, 2010)

Option	Description
Politiques pour éviter l'exposition	Zonage de l'occupation des sols, restrictions d'utilisation, politiques de déménagement
Meilleures pratiques sectorielles	Sélection de variétés de cultures et d'arbres résistantes au climat, récupération de l'eau, utilisation de plaines d'inondation naturelles pour stocker l'eau, efficacité énergétique dans les bâtiments, la gestion de l'eau, et l'éclairage
Protection des infrastructures contre le climat	Augmentation de la résistance aux répercussions climatiques par la conception des bâtiments, la sélection des matériaux de construction, et des structures élevées
Mesures d'adaptation pour accroître la capacité d'adaptation	
Option	Description
Promotion du développement économique et des moyens de subsistance améliorés et diversifiés	Revenus supérieurs et moyens de subsistance plus diversifiés ¹⁰⁷ permettent aux individus et aux ménages de faire face au changement climatique et en particulier aux inondations, aux sécheresses, et aux événements extrêmes
Renforcement des capacités de gestion des risques de catastrophe	Aide la société civile et les communautés à répondre aux sécheresses, aux inondations, et aux événements extrêmes avec moins de décès et de blessures et à récupérer plus rapidement

Amélioration de la gestion des services publics	Une meilleure gestion de l'approvisionnement et de la demande d'eau peut réduire l'impact des sécheresses, et compléter la gestion des risques liés aux catastrophes
Mise en œuvre de systèmes d'alerte précoce	Systèmes de suivi et d'aide à la décision liés aux inondations, à la sécheresse, aux épidémies sanitaires, et aux maladies des cultures/forêts et nuisibles
Construction de plusieurs systèmes de soutien	Comprend les systèmes tels que les alimentations d'eau, les systèmes énergétiques d'urgence, les transports, les communications, ainsi que les banques alimentaires
Entretien d'écosystèmes sains	Les écosystèmes fournissent une variété de services, tels que la régulation hydrique et le contrôle des sédiments qui peuvent aider à réduire les répercussions des sécheresses, des inondations, des événements extrêmes, à maintenir la biodiversité, et à soutenir les moyens de subsistance basés sur les ressources naturelles

Un grand nombre d'options d'adaptation sont disponibles pour divers contextes biophysiques, socioéconomiques et institutionnels. Voici quelques exemples suggérés par Wilk et Wittgren (2009) :

1. Adaptation en augmentant l'approvisionnement d'eau et les services d'écosystème :
 - expansion de la récupération des eaux de pluie pour améliorer les cultures alimentées en eau de pluie, et la recharge des eaux souterraines ;
 - adoption de programmes de transfert de l'eau ;
 - restauration des habitats aquatiques et des services d'écosystème ;
 - capacité de stockage accrue, en construisant des réservoirs ;
2. Adaptation en réduisant la demande d'eau et en augmentant l'efficacité d'utilisation :
 - élimination de la végétation invasive non-native des zones riveraines ;
 - amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau grâce au recyclage ;
 - extension des cultures résistantes à la sécheresse ;
 - gestion améliorée de l'agriculture irriguée, par exemple, modification du calendrier des cultures, mélange des cultures, méthode d'irrigation et réparation et maintenance des infrastructures d'irrigation ;
 - utilisation étendue d'incitations économiques pour encourager la conservation de l'eau ;
 - amélioration des infrastructures urbaines d'eau et d'assainissement ;
3. Adaptation en améliorant la protection contre les inondations :
 - construction d'infrastructures de protection contre les inondations ;
 - agrandissement des zones riveraines ;
 - stockage amont amélioré ;

- restauration et entretien des marais ;
- prévision améliorée des inondations.

6.6.2 REPONSES D'ADAPTATION PAR SYSTEMES ET SECTEURS

Les gestionnaires de l'eau ont dû pendant longtemps faire face aux difficultés posées par la variabilité climatique et hydrologique, à la fois intra-annuellement et inter-annuellement. Leurs stratégies d'adaptation comprennent la réponse à la variabilité saisonnière et aux périodes humides et sèches prolongées en utilisant des systèmes intégrés de réservoirs et d'irrigation qui permettent de capturer l'eau pendant la saison humide pour qu'elle soit utilisée pendant les saisons sèches et les périodes prolongées de sécheresse. Ces actions d'adaptation autonome, définies comme des réponses qui seront mises en œuvre par des gestionnaires de l'eau individuels, les agriculteurs et les autres usagers de l'eau, dépendront du changement climatique perçu ou réel lors des décennies à venir, et sans intervention et/ou coordination par les gouvernements régionaux et nationaux et les accords internationaux (Bates et al., 2008). De plus, *l'adaptation planifiée* (utilisant la définition du GIEC qui comprend les changements des politiques, des institutions et des infrastructures dédiées), sera nécessaire pour faciliter et optimiser les avantages à long terme des réponses d'adaptation au changement climatique.

Dans la plupart des pays du monde, en particulier en Afrique, les femmes et les enfants sont responsables de la collecte d'eau pour la cuisine, le nettoyage, la santé et l'hygiène. L'approvisionnement d'eau de plus en plus limité, un mauvais service et la pollution mettent en danger la survie des femmes ainsi que celle de leurs familles (UICN, PDNU, GGCA, 2009). Tant les femmes que les hommes peuvent être des agents du changement, et par conséquent le point de départ est une analyse de la relation différenciée entretenue par les femmes et les hommes avec les ressources environnementales telles que l'eau.

Une compréhension claire des relations entre le genre et le développement durable nécessite une analyse des modèles d'utilisation, des connaissances et des compétences liées à la gestion, à l'utilisation et à la conservation des ressources naturelles. L'application d'une approche par genre assurera une vue complète des relations que les personnes ont établies avec leurs écosystèmes (UICN, PDNU, GGCA, 2009).

Le Technical Paper on Water du GIEC (Bates et al., 2008) fournit une description approfondie des réponses d'adaptation *autonomes* et *planifiées* potentielles, intégrées dans le contexte de la vulnérabilité et du développement durable des ressources hydriques dans les systèmes et les secteurs. Les répercussions ci-dessous sont présentées par ce rapport technique avec des exemples, notamment :

- *Sécurité agricole et alimentaire, utilisation des terres et foresterie* : en Azerbaïdjan, des efforts sont en cours pour améliorer les performances de l'agriculture irriguée afin qu'elle puisse utiliser moins d'eau ;

- *Santé humaine* : le changement climatique est susceptible d'avoir un impact sur la santé à cause des changements de température et des événements extrêmes, des changements de la qualité de l'air, des aliments, et de l'eau potable, et des altérations des maladies sensibles au climat. Les températures accrues peuvent entraîner diverses répercussions sur la santé, notamment une hausse des canicules et des grandes chaleurs, entraînant une survenue supérieure de coups de chaleur pour les pauvres, les personnes âgées, et les ouvriers à haut risque ;
- *Alimentation en eau et assainissement* : A Majuro, capitale des îles Marshall, les mesures d'adaptation pour les ressources en eau potable comprennent : une gestion améliorée de l'approvisionnement public en eau, avec le suivi des flux dans le réseau de distribution, la détection des fuites, un accès accru des ménages à l'eau et à l'assainissement, une couverture étendue et la maintenance des systèmes de bassins d'eau de pluie et de stockage ; la protection des lentilles d'eau douce, avec la mise en œuvre et l'application de lois et réglementations sur la pollution et la gestion des déchets ; la gestion de la demande, le développement de politiques et d'incitations pour la conservation de l'eau, et la formation et l'équipement des inspecteurs pour soutenir les mesures de conservation de l'eau et d'urgence ;
- *Installations et infrastructures* : par exemple, dans les opérations de protection contre le climat dans le delta du Mékong concernant les routes, les ponts, et les communications, le développement/l'amélioration des infrastructures publiques d'approvisionnement d'eau, de nouvelles constructions, et des codes de construction (par exemple, Can Tho City requiert désormais que toute nouvelle construction soit à 2,5 m au-dessus du niveau de la mer) sont pris en compte ;
- *Économie* : assurance, tourisme, industrie, transport : les changements des régimes hydriques auront des effets négatifs sur les régions côtières et du delta. Des mesures pluridisciplinaires sont donc recherchées.

Chaque système ou secteur est décrit à son tour dans les sections suivantes, sur la base du Technical Paper on Water du GIEC (Bates et al., 2008) et de l'AR4 du GIEC.

ADAPTATION DES RESSOURCES HYDRIQUES DANS L'AGRICULTURE ET LA SECURITE ALIMENTAIRE, UTILISATION DES TERRES ET FORESTERIE

Un élément clé pour les adaptations *autonomes* en ce qui concerne les ressources hydriques et l'agriculture, la sécurité alimentaire, l'occupation des sols et la foresterie concerne essentiellement les activités d'amélioration de la gestion du risque et de la production déjà disponibles pour les agriculteurs et les communautés – ou la création de nouveaux services d'assistance. Par exemple, en ce qui concerne l'eau et les cultures agricoles, elles comprennent :

- l'adoption de variétés/espèces plus résistantes aux variations de températures et à la sécheresse ;

- la modification des techniques d'irrigation, y compris la quantité, la période ou la technologie ;
- l'adoption de technologies économes en eau pour « récupérer » l'eau, conserver l'humidité du sol (par exemple avec la rétention des résidus de culture), et réduire l'envasement et l'intrusion d'eau salée ;
- l'amélioration de la gestion de l'eau pour empêcher toute stagnation, toute érosion et tout lessivage ;
- la modification des calendriers des cultures, par exemple du moment ou de l'emplacement des activités de culture ;
- la mise en œuvre de prévisions climatiques saisonnières.

Les options pour l'adaptation planifiée comprennent la mise en œuvre d'actions pour :

- améliorer la gouvernance, notamment en traitant du changement climatique dans les programmes de développement ;
- augmenter l'investissement dans l'infrastructure d'irrigation et les technologies efficaces d'utilisation de l'eau ;
- assurer une infrastructure appropriée de transport et de stockage ;
- réviser les régimes fonciers (y compris le contrôle des droits de propriété bien définis) ;
- établir des marchés accessibles et efficaces pour les produits et les contributions (y compris des plans de tarification de l'eau) ;
- services financiers (assurance comprise).

D'autres informations sur les réponses d'adaptation autonomes et planifiées pour l'agriculture et la sécurité alimentaire et la foresterie sont fournies dans le chapitre 7, alors que des informations supplémentaires sur l'adaptation de l'occupation des sols côtiers sont présentées dans le chapitre 5.

ADAPTATION DES RESSOURCES HYDRIQUES DANS LE SECTEUR DE LA SANTE HUMAINE

« Etant donné le très grand nombre de personnes qui peuvent en être affectées, la malnutrition et le manque d'eau peuvent être les conséquences sanitaires les plus importantes du changement climatique. » (Bates et al., p. 67).

Les activités d'adaptation pour atténuer les répercussions des changements futurs suscités par le changement climatique dans le secteur des ressources hydriques comprennent les activités de réduction de la vulnérabilité pour améliorer l'accès à l'eau potable et un assainissement amélioré pour réduire la malnutrition, la mortalité infantile et les maladies liées à l'eau contaminée ou insuffisante.

De plus, ainsi que cela est indiqué dans le chapitre 8, l'utilisation d'évaluations de l'impact sur la santé révèlent souvent les opportunités d'intégrer les effets sur la santé des stratégies d'adaptation dans le secteur de l'eau, comme celles de l'alimentation en eau et de l'assainissement, présentées ci-dessous.

ADAPTATION DE L'ALIMENTATION EN EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

La question critique pour les gouvernements et les services publics de l'eau situés dans les régions à risque en matière de changements importants dans l'eau potable future est de développer des plans d'adaptation efficaces à long terme. Cela est particulièrement important, étant donné que l'approvisionnement en eau et les systèmes d'assainissement sont des systèmes construits avec des durées de vie prolongées, pour lesquelles le paradigme traditionnel de planification de l'eau a été de considérer que les conditions climatiques historiques observées seront représentatives des conditions futures.

Les options d'adaptation comprennent :

- la construction de nouveaux réservoirs de stockage ;
- l'utilisation de sources d'eau alternatives, telles que les eaux souterraines ou de désalinisation ;
- la réduction du besoin de nouveaux approvisionnements d'eau comprenant la récupération des eaux de pluie ainsi qu'une réutilisation contrôlée, en réduisant les pertes d'eau (fuites) dans les réseaux urbains et dans les systèmes d'irrigation ;
- le développement de plans de sécurité de l'eau (WSP) pour réaliser une évaluation et une gestion complètes des risques du bassin au consommateur pour traiter la qualité moindre de l'eau causée par les variations de débit ;
- la conception et l'exploitation des sites de traitement de l'eau et des eaux usées doivent être révisées périodiquement, en particulier dans les zones vulnérables, pour assurer ou augmenter leur fiabilité et leur capacité à faire face à des variations incertaines du débit ;
- l'utilisation de systèmes décentralisés, la construction d'égouts séparés, le traitement des débordements d'égouts combinés (c'est-à-dire le mélange des eaux usées et du ruissellement dans les villes), et l'injection d'eau de pluie dans le sous-sol.

Les options d'adaptation ci-dessus peuvent également être réalisées avec des pratiques améliorées et intégrées de gestion de l'eau visant à intégrer l'adaptation au changement dans la politique et la pratique, ainsi que cela est présenté dans le chapitre 9.

ADAPTATION DES RESSOURCES EN EAU DANS LES INSTALLATIONS ET LES INFRASTRUCTURES

Il est important de noter que le Technical Paper sur Water du GIEC a souligné, avec un niveau de confiance très élevé, qu'une intégration améliorée de la variabilité climatique actuelle dans la gestion liée à l'eau améliorerait les réponses d'adaptation. Les dispositions de gestion améliorées pour traiter les répercussions des inondations, de la sécheresse ou de la quantité, la qualité ou du caractère saisonnier de la disponibilité de l'eau, en sont un exemple. Cependant, il est reconnu que nombre de ces réponses d'adaptation seront vraisemblablement chères et, par conséquent, une attention particulière doit être portée aux coûts. A ce titre, il est utile de considérer l'adaptation des ressources hydriques dans les contextes suivants :

- les installations dans des sites à haut risque, tels que les zones côtières et riveraines, à cause des dommages dus aux inondations et aux orages et à la dégradation de la qualité de l'eau en conséquence de l'intrusion saline ;
- les installations dont l'économie est étroitement liée à une activité dépendant de l'eau et sensible au climat, telle que l'agriculture irriguée, le tourisme lié à l'eau, et le ski alpin ;
- l'infrastructure, y compris les bâtiments, les réseaux de transport, les installations côtières, les infrastructures d'approvisionnement d'eau et de traitement des eaux usées, et installations énergétiques, exposées directement aux dommages du changement climatique liés à l'eau (par exemple inondations, affaissement dus à la sécheresse du sol) ainsi que les répercussions sur les performances, les coûts et la suffisance des installations qui n'ont pas été conçues pour le changement climatique.

6.6.3 INTEGRATION

L'intégration est définie comme le processus d'incorporation des préoccupations climatiques et des réponses d'adaptation dans les politiques, plans, programmes et projets pertinents au niveau national, infranational et local (USAID, 2009). Les mesures d'adaptation sont rarement mises en œuvre uniquement pour répondre aux changements climatiques, car elles offrent habituellement d'autres avantages en termes de développement. Lors de l'achèvement des communications nationales, il est important de prendre en compte la manière dont les résultats seront intégrés dans le pays, afin de permettre la réalisation d'un changement significatif.

Dans le secteur de l'eau, un exemple d'intégration concerne l'intégration des plans et des cadres de l'IWRM dans la planification du développement.

Le cadre de travail du PNUD en matière d'intégration souligne les trois composantes majeures d'une intégration efficace des changements climatiques :

- trouver les points d'entrée et plaider sa cause ;
- intégrer l'adaptation dans des processus politiques ;

- surmonter le défi d'implantation.

Vous trouverez de plus amples informations sur l'intégration au chapitre 9 de cette ressource.

6.6.4 SUIVI ET EVALUATION

La question importante lors de la mise en œuvre d'options d'adaptation est comment l'efficacité de l'adaptation sera suivie et évaluée. Heureusement, de nombreuses organisations, dont le PNUD et la Banque mondiale, travaillent à l'élaboration d'approches pratiques de suivi et d'évaluation de l'adaptation aux changements climatiques en instaurant des « cadres de travail basés sur des résultats » qui s'inscrivent dans le contexte plus vaste d'efficacité de l'aide.

Les problèmes à prendre en compte dans la conception d'un suivi et évaluation de l'adaptation comprennent (Kay et al., prochainement) :

- Orientation des résultats : Quel est l'objectif précis de l'action d'adaptation ?
- Le contexte décisionnel : Pourquoi l'action d'adaptation a-t-elle été choisie - peut-être pour se focaliser sur les priorités immédiates en matière de santé pour réduire la vulnérabilité ou les impacts des changements climatiques à plus long terme - et quelles sont les obstacles, les contraintes et les opportunités qui influenceront sur la réussite de cette implantation ?
- Les considérations spatiales : À quel niveau l'action d'adaptation aura-t-elle un impact ?
- Les considérations temporelles : Quand l'impact d'une action d'adaptation sera-t-il connu ?

Il s'agit de considérations importantes pouvant également aider à la planification globale d'actions d'adaptation pour les zones côtières et offrant un point de mire qui permettra de s'assurer que les actions spécifiques choisies pendant le processus de planification seront les plus efficaces.

On distingue quatre étapes clés dans le suivi et l'évaluation dédiées au rapport sur la mise en œuvre des priorités d'adaptation identifiées dans les communications nationales :

- Mettre en place un cadre de référence de suivi et d'évaluation ;
- Élaborer un plan d'évaluation ;
- Mener une évaluation ;
- Communiquer les résultats.

D'autres directives sur le suivi et l'évaluation de l'adaptation sont données au chapitre 9.

6.7 REFERENCES

- American Water Works Association (Association américaine des ouvrages d'épuration de l'eau). 2001 *Water Resources Planning: Manual of Water Supply Practices*. M50, éd. Denver, CO: American Water Works Association
- Ames A. 1998. A documentation of glacier tongue variations and lake development in the Cordillera Blanca, Peru. *Zeitschrift fuer Gletscherkunde und Glazialgeologie*. 34(1): 1–36.
- Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S et Palutikof JP, (eds). 2008 *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genève : Secretariat du GIEC. 210pp.
- Beven K. 2004. *Rainfall-Runoff Modelling – The Primer*. Chichester, UK: Wiley.
- Boorman D et Sefton C. 1997. Recognizing the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change*. 35(4): 415-434.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution du groupe de travail dans le rapport de la quatrième évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KB Averyt, M. Tignor et HL Miller (eds.). Cambridge et New York : Cambridge University Press.
- GIEC. 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de Travail II au Quatrième Rapport d'Évaluation du Panel International sur les Changements Climatiques*. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden et CE Hanson (eds.). Cambridge et New York : Cambridge University Press.
- UICN/PPDNU/GGCA .2009. *Training Manual on Gender Climate Change* Disponible sur <<http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2009-012.pdf>>.
- Kaser G et Osmaston H. 2002. *Tropical Glaciers*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Kay RC, Haines A, Rosenzweig C, Steffen W et Thom B. Prochainement. Perspectives on Adaptation Effectiveness. *Dans* : J Palutokof, M Parry et S Boulter (eds.). *Climate Adaptation Futures*.
- Kundzewicz ZW, Mata LJ, Arnell NW, Döll P, Kabat P, Jiménez B, Miller KA, Oki T, Sen Z et Shiklomanov IA. 2007 Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de Travail II au Quatrième Rapport d'Évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. ML Parry, OF Canziani, JP

Palutikof, PJ van der Linden et CE Hanson (eds.). Cambridge : Cambridge University Press. pp. 173–210.

Nicholls RJ, Wong PP, Burkett VR, Codignotto JO, Hay JE, McLean RF, Ragoonaden S et Woodroffe CD. 2007 Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden et CE Hanson (eds.). Cambridge : Cambridge University Press. pp. 315-356.

Nations Unies. 2003 *World Water Development Report: Water for Life, Water for People*. Paris : UNESCO et Barcelone : Berghahn Books. 544 pp.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) 2012 *Integrated Water Resources Management Planning Approach for Small Island Developing States*. PNUE. pp. 130 + xii . Disponible à l'adresse <<http://www.unep.org/pdf/sids.pdf>>.

USAID (Agence des États-Unis pour le développement international) 2009 *Adapting to Coastal Climate Change: A Guidebook for Development Planners*. Disponible à l'adresse <<http://www.crc.uri.edu/download/CoastalAdaptationGuide.pdf>>.

United States Agency For International Development 2010 *Asia-Pacific Regional Climate Change Adaptation Assessment*. Disponible à l'adresse <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADS197.pdf>.

Wilk J et Wittgren HB (eds.). 2009 *Adapting Water Management to Climate Change*. Swedish Water House policy Brief nr. 7. SIWI.

Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber-Lee A .2005a. WEAP21: a demand, priority, and preference driven water planning model: part 1, model characteristics. *Water International*. 30(4): pp. 501–512.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., et Galbraith, H. 2005b. "WEAP21: A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation," *Water International*. 30(4), pp. 501-512.