

# 5

---

## **Analyse des aspects régionaux du changement climatique et des ressources en eau**

---



## 5.1 Afrique

### 5.1.1 Contexte

L'eau est l'un des principaux problèmes actuels et futurs auxquels est confrontée l'Afrique. L'approvisionnement en eau à partir des cours d'eau, des lacs et des chutes de pluie n'est pas également accessible, sa répartition géographique naturelle est irrégulière et la consommation d'eau ne peut y être qualifiée de durable. Le changement climatique est susceptible d'imposer des contraintes supplémentaires sur la disponibilité et l'accessibilité de l'eau. Arnell (2004) a décrit les implications des scénarios SRES du GIEC pour la projection de l'écoulement fluvial à l'horizon 2050 à l'aide du modèle climatique HadCM3<sup>20</sup>. Ces expériences démontrent une diminution significative du ruissellement dans les régions septentrionales et australes de l'Afrique, mais prévoient une augmentation dans les régions orientales et dans certaines parties semi-arides de l'Afrique subsaharienne. Cependant, les résultats de plusieurs modèles (figures 2.8 et 2.9) indiquent une variation considérable d'un modèle à l'autre, avec une diminution en Afrique du Nord et une augmentation en Afrique de l'Est parmi les réponses les plus robustes. Il existe un large éventail de projections pour les précipitations en Afrique subsaharienne, certains modèles prévoyant des hausses, d'autres des baisses. Les incidences prévues doivent être considérées dans le contexte de cette grande incertitude. [GT I 11.2, tableau 11.1; GT II 9.4.1]

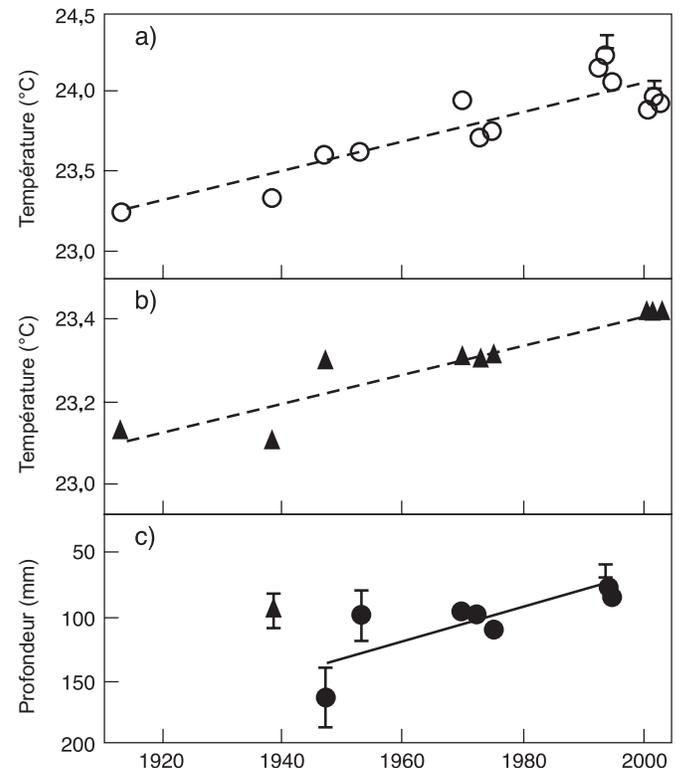
D'ici 2025, la disponibilité en eau de neuf pays,<sup>21</sup> principalement en Afrique de l'Est et du Sud, devrait être inférieure à 1 000 m<sup>3</sup>/personne/an. Dans douze pays,<sup>22</sup> elle serait limitée à entre 1 000 et 1 700 m<sup>3</sup>/personne/an, et la population susceptible de subir un stress hydrique pourrait atteindre 460 millions de personnes, principalement en Afrique occidentale (PNUE/GRID-Arendal, 2002).<sup>23</sup> Ces estimations sont fondées uniquement sur les taux de croissance démographique et ne tiennent pas compte de la variation des ressources en eau due au changement climatique. De plus, une estimation indique une augmentation de la proportion de la population africaine qui pourrait être confrontée à un stress hydrique et à une hausse de la pénurie d'eau de 47 % en 2000 à 65 % en 2025 (Ashton, 2002). Cela pourrait engendrer des conflits liés à l'eau, en particulier dans les régions arides et semi-arides. [GT II 9.2, 9.4]

<sup>20</sup> Voir l'appendice I pour la description des modèles.

<sup>21</sup> Djibouti, Cap-Vert, Kenya, Burundi, Rwanda, Malawi, Somalie, Égypte et Afrique du Sud.

<sup>22</sup> Maurice, Lesotho, Éthiopie, Zimbabwe, Tanzanie, Burkina Faso, Mozambique, Ghana, Togo, Nigéria, Ouganda et Madagascar.

<sup>23</sup> Seuls cinq pays d'Afrique ont actuellement (données de 1990) accès à un volume inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/personne/an: Rwanda, Burundi, Kenya, Cap-Vert et Djibouti.



**Figure 5.1:** Mesures anciennes et récentes du lac Tanganyika, en Afrique orientale: a) températures de la couche de mélange supérieure (eaux de surface); b) températures des eaux profondes (600 m); c) profondeur de la couche de mélange supérieure. Les triangles représentent les données recueillies selon un procédé différent. Les barres d'erreur représentent les écarts types. Réimpression avec l'aimable autorisation de Macmillan Publishers Ltd. [Nature] (O'Reilly et al., 2003), copyright 2003. [GT II figure 1.2]

Un exemple particulier est la région sud-ouest du Cap, en Afrique du Sud, où une étude montre une diminution de la capacité d'approvisionnement en eau parallèle à une diminution des précipitations ou à une éventuelle augmentation de l'évaporation. Il s'en suivrait une réduction de l'approvisionnement en eau de 0,32 % par an à l'horizon 2020, tandis qu'il est prévu que le changement climatique lié au réchauffement mondial entraîne une augmentation de la demande en eau de 0,6 % par an dans la région métropolitaine du Cap (New, 2002).

En ce qui concerne le bassin du Nil, Conway (2005) n'a trouvé aucune indication nette sur la manière dont le régime de ce fleuve serait affecté par le changement climatique, du fait de l'incertitude relative à la configuration prévue des chutes de pluie dans le bassin et de l'influence de structures complexes de gestion et de gouvernance de l'eau. [GT II 9.4.2]

Des réponses aux écarts de précipitations sont déjà observées dans un grand nombre de sources d'eaux terrestres et elles pourraient servir d'éventuels indicateurs d'un stress

hydrique futur lié à la variabilité du climat. Dans les régions orientales du continent, on a observé des fluctuations interannuelles du niveau des lacs, avec des niveaux bas en 1993-1997 et des niveaux plus élevés (notamment pour les lacs Tanganyika, Victoria et Turkana) en 1997-1998, ces derniers étant liés à un excès de précipitations à la fin de l'année 1997, auquel viennent s'ajouter des perturbations à grande échelle dans l'océan Indien (Mercier *et al.*, 2002). Des températures de l'eau plus élevées ont également été observées dans les lacs en réponse à des conditions plus chaudes (voir figure 5.1). [GT II 9.2.1.1, 1.3.2.3]

## 5.1.2 Observations actuelles

### 5.1.2.1 Variabilité du climat

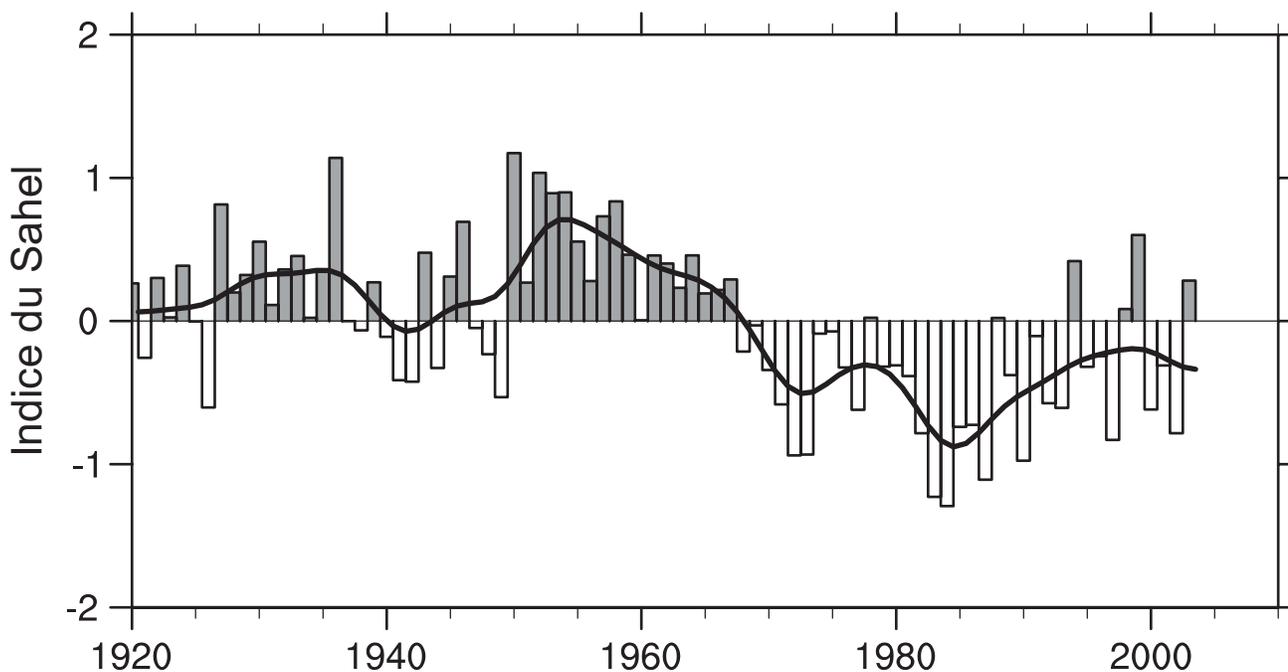
La région du Sahel en Afrique occidentale est confrontée à une nette variabilité multidécennale des précipitations (par exemple, Dai *et al.*, 2004a), liée à des changements dans la circulation atmosphérique et aux changements connexes dans la configuration des températures de la mer en surface dans les régions tropicales des bassins Pacifique, Indien et Atlantique (à savoir l'ENSO et l'OAM). Des conditions de grande sécheresse se sont produites des années 1970 aux années 1990, après une période plus humide pendant les années 1950 et 1960. Le déficit de pluie était principalement lié à une réduction du nombre d'épisodes pluvieux significatifs pendant la période de pointe de la mousson (juillet à septembre) et au cours de la première

saison des pluies au sud d'environ 9°N. La diminution des chutes de pluie et les sécheresses dévastatrices dans la région du Sahel au cours des trois dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle (figure 5.2) font partie des changements climatiques les plus prononcés, toutes régions confondues. Au Sahel, les précipitations ont atteint un minimum après l'épisode *El Niño* de 1982/83. [GT I 3.7.4] Les études de modélisation laissent à penser que les précipitations au Sahel ont été davantage influencées par les variations climatiques à grande échelle (probablement liées aux changements des aérosols anthropiques), que par des changements locaux d'affectation des terres. [GT I 9.5.4]

### 5.1.2.2 Ressources en eau

Environ 25 % de la population africaine contemporaine est soumise à un stress hydrique, tandis que 69 % vit dans des conditions d'abondance relative de l'eau (Vörösmarty *et al.*, 2005). Cependant, cette abondance relative ne tient pas compte d'autres facteurs tels que la potabilité et l'accessibilité de l'eau, ainsi que la disponibilité d'un assainissement. Malgré des améliorations considérables de l'accès dans les années 1990, en 2000, seulement 62 % environ des Africains avaient accès à un approvisionnement en eau amélioré (OMS/UNICEF, 2000). [GT II 9.2.1]

Un tiers de la population africaine vit dans des régions exposées à la sécheresse et est vulnérable à ses incidences (Forum mondial de l'eau, 2000). Cet état de fait a contribué



**Figure 5.2:** Série chronologique (avril à octobre) des chutes de pluie régionales au Sahel (10°N-20°N, 18°O-20°E) de 1920 à 2003, dérivée du maillage d'anomalies de stations normalisées, suivi du calcul de la moyenne avec pondération par région (adapté de Dai *et al.*, 2004a). Les valeurs positives (barres ombrées) indiquent des conditions plus humides que la moyenne à long terme, et les valeurs négatives (barres blanches) indiquent des conditions plus sèches que la moyenne à long terme. La courbe noire indique les variations décennales. [GT I figure 3.37]

à la migration, à la séparation culturelle, au déplacement des populations et à l'effondrement de cultures anciennes. Les sécheresses ont surtout touché le Sahel, la corne de l'Afrique et le sud de l'Afrique, en particulier depuis la fin des années 1960, avec des incidences graves sur la sécurité alimentaire et, pour finir, la survenue de la famine. En Afrique occidentale, une diminution des précipitations annuelles a été observée depuis la fin des années 1960, avec une diminution de 20 à 40 % pendant la période allant de 1968 à 1990, par comparaison à la période 1931-1960 (Nicholson *et al.*, 2000; Chappell et Agnew, 2004; Dai *et al.*, 2004a). L'influence des variations décennales de l'ENSO a également été reconnue dans le sud-ouest de l'Afrique, affectée en partie par l'oscillation nord-atlantique (NAO) (Nicholson et Selato, 2000). [GT II 9.2.1]

### 5.1.2.3 Énergie

Dans la plupart des pays d'Afrique, l'électricité est issue de l'énergie hydroélectrique. Peu d'études sont disponibles sur les incidences du changement climatique sur la consommation d'énergie en Afrique (Warren *et al.*, 2006). [GT II 9.4.2] Cependant, le continent se caractérise par une très forte dépendance au bois de chauffage, principale source d'énergie dans les zones rurales (environ 70 % de la consommation totale d'énergie du continent). Toute incidence du changement climatique sur la production de la biomasse aurait également un impact sur la disponibilité en énergie provenant du bois de chauffage. L'accès à l'énergie est fortement restreint en Afrique subsaharienne. On estime que 51 % de la population urbaine et seulement 8 % de la population rurale a accès à l'électricité. Ces chiffres peuvent être comparés aux 99 % de la population urbaine et 80 % de la population rurale qui y a accès en Afrique du Nord. D'autres questions, notamment l'urbanisation, l'augmentation des demandes en énergie et la volatilité des prix du pétrole viennent compliquer les problèmes énergétiques de l'Afrique. [GT II 9.2.2.8]

### 5.1.2.4 Santé

#### Paludisme

En Afrique subsaharienne, la distribution spatiale, l'intensité de la transmission et la saisonnalité du paludisme sont influencées par le climat. Le développement socioéconomique n'a eu qu'une incidence limitée sur le ralentissement de la distribution de la maladie (Hay *et al.*, 2002a; Craig *et al.*, 2004). [GT II 8.2.8.2]

Les chutes de pluie peuvent représenter un facteur limitant pour les populations de moustiques et il existe des preuves de réduction de la transmission associée aux diminutions de précipitations décennales. Des preuves de la prévisibilité des anomalies anormalement hautes ou basses de paludisme à partir de la température de la mer en surface (Thomson *et al.*, 2005b) et des projections climatiques saisonnières d'un ensemble multi-modèles au Botswana (Thomson *et al.*, 2006) encouragent l'utilisation pratique et régulière de projections saisonnières pour le contrôle du paludisme dans le sud de l'Afrique (DaSilva *et al.*, 2004). [GT II 8.2.8.2]

Les effets du changement climatique observé sur la distribution géographique du paludisme et son intensité de transmission dans les régions des hauts plateaux prètent à controverse. Les analyses des données chronologiques de certains sites de l'est de l'Afrique montrent que l'incidence du paludisme a augmenté en l'absence apparente de tendances climatiques (Hay *et al.*, 2002a, b; Shanks *et al.*, 2002). Les éléments moteurs mis en avant pour expliquer la résurgence du paludisme incluent la résistance du parasite aux médicaments et une diminution des activités de lutte contre le vecteur. Cependant, la validité de cette conclusion a été remise en question car elle pourrait être le résultat d'une utilisation incorrecte des données climatiques (Patz, 2002). L'analyse des données de température actualisées pour ces régions a mis en évidence une tendance significative au réchauffement depuis la fin des années 1970, l'étendue du changement influençant le potentiel de transmission (Pascual *et al.*, 2006). Dans le sud de l'Afrique, les tendances à long terme pour le paludisme n'ont pas été associées au climat de manière significative, même si des changements saisonniers du nombre de cas ont été significativement liés à un nombre de variables climatiques (Craig *et al.*, 2004). La résistance aux médicaments et l'infection par le VIH ont été associées aux tendances du paludisme à long terme dans la même région (Craig *et al.*, 2004). [GT II 8.2.8.2]

Certaines autres études ont fait état de liens entre la variabilité interannuelle de la température et la transmission du paludisme dans les hautes terres africaines. Une analyse des données chronologiques filtrées concernant le paludisme à Madagascar a indiqué qu'une température minimale au début de la période de transmission (correspondant aux mois de plus fort contact entre les personnes et le vecteur) est responsable en grande partie de la variabilité interannuelle (Bouma, 2003). Dans les régions de hautes terres du Kenya, les admissions pour paludisme ont été associées aux chutes de pluie et à des températures maximales inhabituellement élevées au cours des trois à quatre mois précédents (Githeko et Ndegwa, 2001). Une analyse des données de morbidité paludéenne pour la période allant de la fin des années 1980 jusqu'au début des années 1990, provenant de 50 sites dans toute l'Éthiopie, a montré que les épidémies étaient associées à des températures minimales élevées au cours des mois précédents (Abeku *et al.*, 2003). Une analyse des données de sept sites des hauts plateaux en Afrique orientale a montré que la variabilité du climat à court terme jouait un rôle plus important dans le déclenchement des épidémies de paludisme que les tendances à long terme (Zhou *et al.*, 2004, 2005), même si la méthode utilisée pour tester cette hypothèse a été remise en cause (Hay *et al.*, 2005). [GT II 8.2.8.2]

#### Autres maladies liées à l'eau

Alors que des maladies infectieuses telles que le choléra sont en cours d'éradication dans d'autres parties du monde, elles font leur réapparition en Afrique. La mortalité infantile imputable à la diarrhée reste élevée dans les pays à faibles revenus, en particulier en Afrique subsaharienne,

malgré les améliorations apportées aux soins et aux thérapies par réhydratation orale (Kosek *et al.*, 2003). Les enfants survivent éventuellement à l'épisode aigu mais peuvent mourir ensuite du fait d'une diarrhée persistante ou de malnutrition. Plusieurs études ont montré que la transmission d'entéropathogènes est plus élevée pendant la saison des pluies (Nchito *et al.*, 1998; Kang *et al.*, 2001). [GT II 8.2.5, 9.2.2.6]

### 5.1.2.5 Secteur agricole

Le secteur agricole est le principal soutien des économies locales de subsistance et du produit intérieur brut (PIB) national dans certains pays d'Afrique. Les contributions de l'agriculture au PIB varient d'un pays à l'autre, mais des évaluations indiquent une contribution moyenne de 21 % (pour une fourchette de 10 à 70 %) (Mendelsohn *et al.*, 2000b). Même lorsque cette contribution est faible, le secteur peut toujours soutenir les moyens de subsistance de très larges tranches de la population, de sorte que toute réduction de la production aurait des incidences sur la pauvreté et la sécurité alimentaire. Ce secteur est particulièrement sensible au climat, y compris aux périodes de variabilité climatique. Dans bien des régions d'Afrique, les agriculteurs et les éleveurs doivent également faire face à d'autres problèmes extrêmes liés aux ressources naturelles tels qu'une fertilité médiocre du sol, la présence de parasites, des maladies des cultures et un manque d'accès aux engrais et aux semences améliorées. Ces problèmes sont généralement aggravés par les périodes de sécheresse prolongée et par les crues (Mendelsohn *et al.*, 2000a, b; Stige *et al.*, 2006). [GT II 9.2.1.3]

### 5.1.2.6 Écosystèmes et biodiversité

Les écosystèmes et leur biodiversité contribuent énormément au bien-être de l'homme en Afrique. [GT II chapitre 9] La riche biodiversité de l'Afrique, qui se manifeste principalement en dehors des régions officiellement conservées, est menacée par la variabilité du climat, par le changement climatique et par d'autres contraintes (par exemple, encadré 5.1). Le développement social et économique de l'Afrique est limité par le changement climatique, la perte d'habitats, la surexploitation de certaines espèces, la dissémination d'espèces non indigènes et les activités telles que la chasse et le déboisement, qui menacent l'intégrité des écosystèmes riches, mais fragiles, du continent (PNUE/GRID-Arendal, 2002). Par exemple, près de la moitié des régions subhumides et semi-arides du sud de l'Afrique présentent un risque de désertification modéré à élevé. En Afrique occidentale, la diminution des précipitations à long terme des années 1970 aux années 1990 a entraîné un décalage de 25 à 35 km vers le sud des régions écologiques du Sahel, du Soudan et de la Guinée, pendant la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle (Gonzalez, 2001). Il en a résulté une perte de pâturages et d'acacias, de flore et de faune et un déplacement des dunes au Sahel, des effets qui sont déjà observés de nos jours (ECF et Institut de Postdam, 2004). [GT II 9.2.1.4]

## 5.1.3 Changements prévus

### 5.1.3.1 Ressources en eau

En Afrique, il est prévu qu'un nombre accru de personnes soit soumis à un stress hydrique avant 2025, c'est-à-dire moins de deux décennies après la publication du présent document technique. La principale raison est l'augmentation de la demande en eau. [GT II 9.4.1] Le changement climatique devrait aggraver cette situation. Certaines évaluations prévoient que le nombre de personnes qui devront faire face à une augmentation du stress hydrique en Afrique sera respectivement de 75 à 250 millions, et de 350 à 600 millions (dans tous les scénarios du SRES) d'ici les années 2020 et 2050 (Arnell, 2004). Cependant, l'incidence du changement climatique sur les ressources en eau n'est pas uniforme dans tout le continent. Une analyse de six modèles climatiques (Arnell, 2004) montre une augmentation *probable* du nombre de personnes susceptibles de subir un stress hydrique d'ici 2055 dans le nord et le sud de l'Afrique (figure 5.4). En revanche, en Afrique orientale et occidentale, un nombre plus important de personnes subira *probablement* une réduction du stress hydrique plutôt qu'une augmentation (Arnell, 2006a). [GT II 3.2, figure 3.2, figure 3.4, 9.4.1, figure 9.3]

Les eaux souterraines sont le plus souvent la principale source d'eau potable en Afrique, en particulier dans les zones rurales qui dépendent de puits creusés et de puits de forage peu onéreux. Leur alimentation devrait diminuer avec la réduction des précipitations et du ruissellement, entraînant une augmentation du stress hydrique dans les régions où ces nappes souterraines viennent pallier les demandes en eau à usage agricole et domestique pendant la saison sèche. [GT II 3.4.2, figure 3.5]

Une étude sur les incidences d'une augmentation de la température de 1 °C sur un bassin versant de la région du Maghreb prévoit un déficit du ruissellement de 10 % environ (Agoumi, 2003), en supposant que les précipitations restent constantes. [GT II 9.4.1, 3.2, 3.4.2]

### 5.1.3.2 Énergie

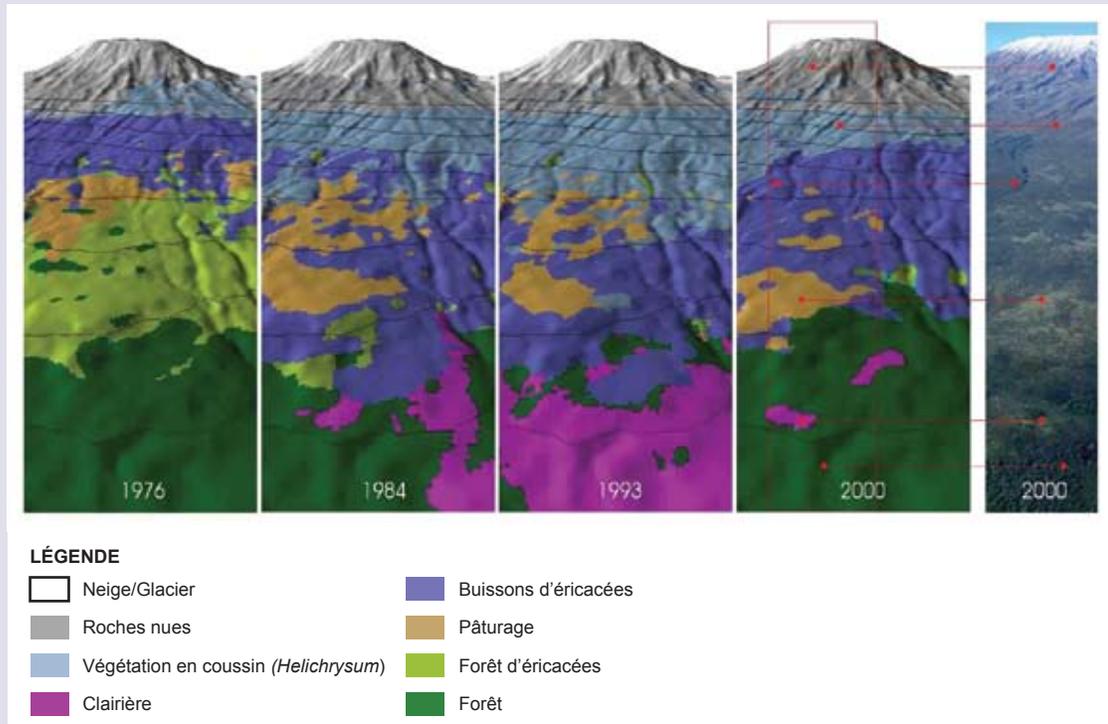
Bien que peu d'études aient été réalisées sur l'énergie en Afrique, une étude sur la génération d'énergie hydraulique réalisée dans le bassin fluvial du Zambèze, en conjonction avec des projections sur le ruissellement futur, indique que la génération d'énergie hydraulique serait désavantagée par le changement climatique, en particulier dans les bassins fluviaux situés dans les régions subhumides (Riebsame *et al.*, 1995; Salewicz, 1995). [GT II TRE 10.2.11, tableau 10.1]

### 5.1.3.3 Santé

Un nombre considérable d'études a associé le changement climatique aux problèmes de santé du continent. Par exemple, les résultats du projet MARA/ARMA, qui vise à établir un atlas du risque de paludisme en Afrique, indiquent des changements dans la distribution des régions

### Encadré 5.1: Changements environnementaux au mont Kilimandjaro [Adapté du GT II encadré 9.1]

Il existe des preuves de l'influence du changement climatique sur les écosystèmes naturels d'altitude du Kilimandjaro. Par exemple, en raison de conditions climatiques sèches, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des incendies sur les pentes du Kilimandjaro a entraîné un abaissement de la limite supérieure de la forêt de plusieurs centaines de mètres au cours du XX<sup>e</sup> siècle (figure 5.3, tableau 5.1). La diminution consécutive de 150 km<sup>2</sup> de la couverture de la forêt de nuages depuis 1976 a eu une grande incidence sur la rétention du brouillard et sur le stockage temporaire de la pluie, et donc sur le bilan hydrique de la montagne (Hemp, 2005).



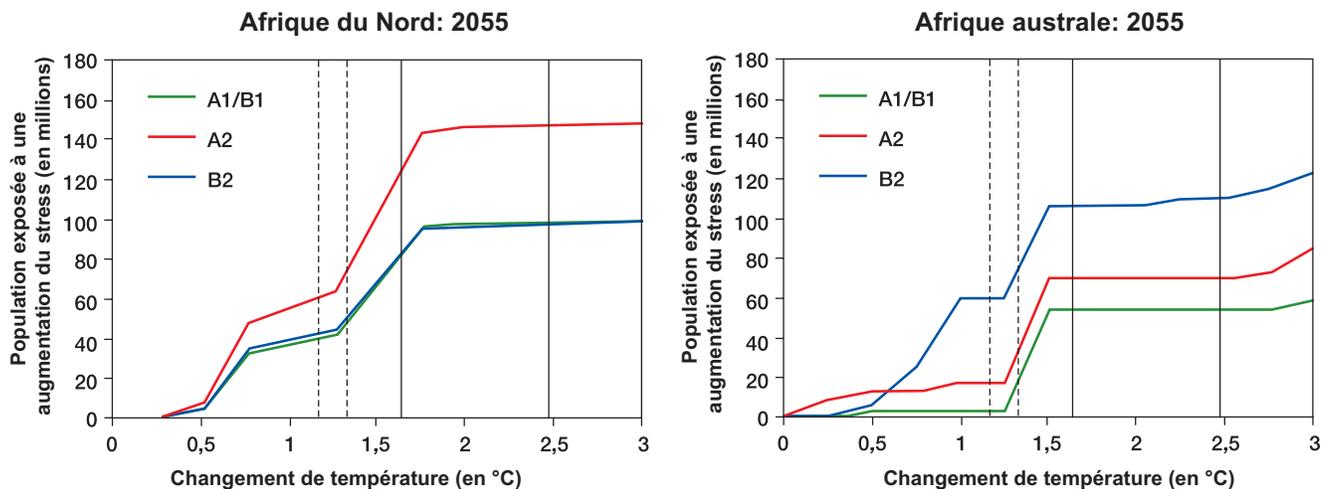
**Figure 5.3:** Changements dans la couverture terrestre du Kilimandjaro causés par des interactions complexes entre l'utilisation des terres et le climat (Hemp, 2005). Réimpression avec l'aimable autorisation de Blackwell Publishing Ltd.

**Tableau 5.1:** Changements dans la couverture terrestre des régions supérieures du Kilimandjaro (Hemp, 2005)

Type de végétation	Superficie en 1976 (km <sup>2</sup> )	Superficie en 2000 (km <sup>2</sup> )	Changement (%)
<b>Forêt d'altitude</b>	1066	974	-9
<b>Forêt subalpine d'éricacées</b>	187	32	-83
<b>Buissons d'éricacées</b>	202	257	+27
<b>Végétation en coussin (<i>Helichrysum</i>)</b>	69	218	+216
<b>Pâturage</b>	90	44	-51

dont le climat est propice au paludisme d'ici 2020, 2050 et 2080 (Thomas *et al.*, 2004). À l'horizon 2050, puis ensuite 2080, il est probable qu'une grande partie de l'ouest du Sahel et du centre-sud de l'Afrique ne soit plus propice

à la transmission du paludisme. D'autres évaluations (par exemple, Hartmann *et al.*, 2002), utilisant seize scénarios de changement climatique, montrent que d'ici 2100, des changements survenant dans la température et les



**Figure 5.4:** Nombre de personnes (en millions) vivant dans des bassins versants exposées à une augmentation du stress hydrique, par rapport à la période de 1961 à 1990 (Arnell, 2006b). Les bassins versants soumis à un stress hydrique ont un ruissellement inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/personne/an, et les populations sont exposées à une augmentation du stress hydrique lorsque le ruissellement diminue significativement en raison du changement climatique. Les scénarios sont issus du modèle HadCM3 et les courbes rouges, vertes et bleues correspondent aux différentes projections de populations; il convient de remarquer que, dans certaines régions, les changements hydrologiques prévus varient sensiblement d'un modèle climatique à l'autre. Les marches qui apparaissent sur la fonction se produisent lorsque davantage de bassins versants sont soumis à une diminution importante du ruissellement. [GT II figure 9.3]

précipitations sont susceptibles de modifier la distribution géographique du paludisme au Zimbabwe, les régions densément peuplées, auparavant inadaptées, devenant propices à la transmission. [GT II 9.4.3]

Relativement peu d'évaluations ont été réalisées sur les changements futurs possibles dans le domaine de la santé animale et imputables à la variabilité et au changement climatiques. Des changements dans la distribution, l'étendue, la prévalence, l'incidence et la saisonnalité des maladies sont à prévoir. Cependant, il existe peu de certitudes quant à l'ampleur du changement. Les épidémies de fièvre de la vallée du Rift, notables pendant l'épisode *El Niño* de 1997/98 en Afrique orientale et associées aux inondations, pourraient augmenter dans les régions sujettes à une augmentation des inondations (paragraphe 3.2.1.2). Le nombre de saisons extrêmement humides devrait augmenter en Afrique orientale. Finalement, il est probable que le stress thermique et la sécheresse aient une incidence négative supplémentaire sur la santé animale et la production de produits laitiers (ce phénomène a déjà été observé aux États-Unis; voir Warren *et al.*, 2006). [GT I tableau 11.1, 11.2.3; GT II 9.4.3, 5.4.3.1]

#### 5.1.3.4 Agriculture

Les incidences du changement climatique sur les périodes culturales et les systèmes agricoles, et leurs éventuelles implications sur les moyens de subsistance ont été étudiées (par exemple, Thornton *et al.*, 2006). Une étude récente, fondée sur trois scénarios, montre une diminution probable des revenus nets des cultures de jusqu'à 90 % d'ici 2100, les petites exploitations étant les plus touchées. Cependant,

l'adaptation serait peut-être susceptible de réduire ces effets négatifs (Benhin, 2006). [GT II 9.4.4]

L'encadré 5.2 décrit une étude de cas portant sur le changement climatique, la disponibilité en eau et l'agriculture en Égypte.

Toutefois, tous les changements du climat et de la variabilité du climat ne seraient pas négatifs pour l'agriculture. Les périodes culturales dans certaines régions, notamment autour des hautes terres de l'Éthiopie, pourraient être prolongées du fait du changement climatique. Une augmentation de la température combinée à des changements dans les chutes de pluie pourrait entraîner une prolongation de la période culturale, par exemple dans certaines régions de hauts plateaux (Thornton *et al.*, 2006). La réduction du gel dans les régions des hautes terres des monts Kenya et Kilimandjaro, par exemple, pourrait permettre de cultiver des cultures plus tempérées, comme des pommes, des poires, de l'orge, du blé, etc. (Parry *et al.*, 2004). [GT II 9.4.4]

Les pêcheries sont une autre source importante de revenus, d'emplois et de protéines. Dans les régions côtières qui abritent de vastes systèmes lagunaires ou lacustres, des changements dans les débits d'eau douce et une intrusion d'eaux salées dans les lagons toucheraient les espèces qui sont les piliers des pêcheries continentales ou de l'aquaculture (Cury *et Shannon*, 2004). [GT II 9.4.4]

On a étudié l'incidence du changement climatique sur le bétail en Afrique (Seo *et Mendelsohn*, 2006). Une diminution

### Encadré 5.2: Climat, disponibilité en eau et agriculture en Égypte [GT II encadré 9.2]

L'Égypte fait partie des pays africains qui pourraient être vulnérables au stress hydrique consécutif au changement climatique. Selon les estimations, en 2000, le volume d'eau consommée s'élevait à environ 70 km<sup>3</sup>, ce qui dépassait déjà largement les ressources disponibles (Gueye *et al.*, 2005). Un défi majeur consiste à combler l'écart qui se creuse rapidement entre la disponibilité limitée en eau et la demande en eau croissante des différents secteurs économiques. Dans ce pays, le taux de consommation d'eau a déjà atteint son maximum et le changement climatique accentuera cette vulnérabilité.

L'agriculture consomme environ 85 % des ressources en eau annuelles totales et joue un rôle important dans l'économie nationale égyptienne, avec une contribution de 20 % environ au PIB. Plus de 70 % des superficies cultivées dépendent de systèmes d'irrigation en surface peu efficaces, ce qui entraîne des pertes d'eau élevées, une diminution de la productivité des terres et des problèmes d'engorgement des sols et de salinité (El-Gindy *et al.*, 2001). De surcroît, des pratiques agricoles non durables et une mauvaise gestion de l'irrigation nuisent à la qualité des ressources en eau du pays. Une réduction de la qualité de l'eau d'irrigation est également néfaste pour les sols et les cultures irrigués.

Les institutions responsables de l'eau en Égypte œuvrent pour atteindre les objectifs suivants d'ici 2017, via le Plan national d'amélioration (EPIQ, 2002; CIID, 2005):

- L'extension de l'assainissement de l'eau dans les zones urbaines et rurales;
- La gestion des eaux usées;
- L'optimisation de l'utilisation des ressources en eau via une amélioration de l'efficacité de l'irrigation et une réutilisation des eaux de drainage de l'agriculture.

Cependant, le changement climatique met en évidence un éventail de menaces graves:

- Une élévation du niveau de la mer pourrait avoir une incidence sur le delta du Nil et les habitants de cette région et d'autres régions côtières (Wahab, 2005).
- Une élévation de la température réduira *probablement* la productivité des principales cultures, augmentera leurs besoins en eau et diminuera donc directement l'efficacité de l'utilisation de l'eau de ces cultures. (Abou-Hadid, 2006; Eid *et al.*, 2006).
- On assistera probablement à une augmentation généralisée de la demande en irrigation (Attaher *et al.*, 2006).
- De grandes incertitudes verront également le jour quant au débit du Nil.
- D'après les scénarios SRES, l'Égypte sera *probablement* confrontée à une augmentation du stress hydrique, avec une diminution prévue des précipitations et des projections démographiques allant de 115 à 179 millions d'habitants à l'horizon 2050, phénomènes qui participeront à un stress hydrique accru dans tous les secteurs.
- La poursuite de l'extension des zones irriguées réduira la capacité de l'Égypte à faire face aux futures fluctuations de débit (Conway, 2005).

de 14 % des précipitations réduirait probablement les revenus des grands élevages de 9 % environ (soit de cinq milliards de dollars des États-Unis) en raison tant de la diminution du nombre de têtes de bétail que de celle du revenu net par tête possédée. [GT II 9.4.4]

#### 5.1.3.5 Biodiversité

La diminution de l'humidité du sol consécutive aux changements des précipitations pourrait affecter les systèmes naturels de plusieurs manières. On a prévu l'extinction d'un grand nombre d'espèces animales et végétales. Plus de 5 000 espèces végétales pourraient être affectées par le changement climatique, surtout du fait de la perte d'habitats appropriés. À l'horizon 2050, il est prévu que l'étendue du biome du *Fynbos* (écosystème d'Afrique du Sud dominé par les éricacées, qui est un «point chaud» de l'UICN) diminue de 51 à 61 % en raison de la diminution des

précipitations hivernales. Le «succulent karoo», biome qui renferme 2 800 espèces végétales à risque d'extinction élevé, devrait s'étendre vers le sud-est et 2 % environ des espèces de la famille des *Proteaceae* sont menacées de disparition. Ces plantes sont étroitement liées aux oiseaux qui les consomment. Certaines espèces de mammifères, notamment les zèbres et les nyalas, dont il a été démontré qu'elles sont vulnérables aux changements dans la disponibilité en nourriture provoqués par la sécheresse, devraient subir de grandes pertes. Dans quelques régions d'aménagement de la faune, tels les parcs nationaux Kruger et Hwange, les populations sauvages dépendent déjà d'un apport supplémentaire d'eau via des puits de forage (encadré 5.3). [GT II 4.4, 9.4.5, tableau 9.1]

Un grand nombre d'espèces d'oiseaux migrateurs viennent de l'Europe et de la région paléoarctique. Certaines espèces

### Encadré 5.3: Extinctions prévues dans le parc national Kruger, en Afrique du Sud [GT II tableau 4.1]

Dans le parc national Kruger, en Afrique du Sud, en cas d'augmentation de la température moyenne mondiale de 2,5 à 3,0 °C au-dessus des niveaux de 1990, sont voués à disparaître:

- 24 à 59 % des mammifères;
- 28 à 40 % des oiseaux;
- 3 à 70 % des papillons;
- 18 à 80 % d'autres invertébrés;
- 1 à 45 % des reptiles.

Au total, 66 % des espèces animales auront potentiellement disparu.

font une étape dans le sud du Sahel avant de traverser le désert du Sahara. Dans la région, la pénurie d'aliments due à la sécheresse pourrait compromettre la réussite de la migration de ces oiseaux. Comme indiqué, les modèles de précipitations pour le Sahel sont ambigus. [GT II 9.3.1] Si les scénarios humides viennent à se matérialiser, la biodiversité de la région subsaharienne ou du Sahel ne court aucun risque imminent du fait des incidences liées au stress hydrique. En revanche, le scénario plus sec pourrait, en fin de compte, mener à de nombreuses extinctions, en particulier du fait de l'intensification de la concurrence entre les systèmes naturels et les besoins humains. [GT II 9.4.5]

Pour les rapaces dans le sud de l'Afrique, des résultats de simulations utilisant les précipitations comme principal paramètre environnemental permettent d'envisager des réductions significatives de leur territoire du fait de son assèchement. [GT II 4.4.3] Au total, les projections laissent envisager que 25 à 40 % des espèces animales en Afrique subsaharienne seraient menacées dans les zones protégées. [GT II 9.4.5]

#### 5.1.4 Adaptation et vulnérabilité

Des études récentes en Afrique soulignent la vulnérabilité de populations locales qui dépendent principalement des ressources naturelles pour leur subsistance; elles indiquent que leur base de ressources, qui subit déjà des contraintes lourdes et qui s'est dégradée du fait d'une exploitation excessive, devrait être encore plus affectée par le changement climatique (Leary *et al.*, 2006). [GT II 17.1]

Le changement et la variabilité climatiques sont susceptibles d'imposer des contraintes supplémentaires sur la disponibilité, l'accessibilité, l'approvisionnement et la demande en eau en Afrique. [GT II 9.4.1] On estime que près de 25 % de la population africaine (200 millions d'habitants)

est actuellement soumise à un stress hydrique, le nombre de pays susceptibles d'être confrontés à un risque élevé dans l'avenir étant en progression (voir paragraphe 5.1.3.1). [GT II 9.RE] De surcroît, il a été envisagé que, même en l'absence de changement climatique, plusieurs pays (en particulier en Afrique du Nord) atteindraient le seuil de ressources en eaux terrestres économiquement utilisables avant 2025. [GT II 9.4.1] De fréquentes catastrophes naturelles telles des sécheresses et des crues ont largement limité le développement de l'agriculture en Afrique, qui est fortement lié aux chutes de pluie. Cette situation génère une insécurité alimentaire en sus des problèmes d'ordre macro et microstructurel. [GT II 9.5.2]

Le phénomène ENSO a, en Afrique, une grande influence sur les précipitations interannuelles et peut agir sur la variabilité future du climat. [GT I 3.7.4, 3.6.4, 11.2] Cependant, un certain nombre de barrières viennent contrarier l'adaptation efficace aux variations du phénomène ENSO, notamment les incertitudes spatiales et temporelles liées aux prévisions du climat régional, la faible connaissance des décideurs sur les incidences locales et régionales du phénomène *El Niño*, les capacités nationales limitées pour la surveillance et la prévision du climat, et le manque de coordination dans la formulation des réponses (Glantz, 2001). [GT II 17.2.2]

En ce qui concerne les incidences de la variabilité et du changement climatiques sur les eaux souterraines, peu d'informations sont disponibles malgré le fait qu'un grand nombre de pays (en particulier en Afrique du Nord) dépendent de telles sources d'eau. [GT II 9.2.1]

Des évaluations antérieures sur les incidences liées à l'eau n'ont traité adéquatement ni les multiples utilisations de l'eau dans l'avenir, ni le stress hydrique futur (par exemple, Agoumi, 2003; Conway, 2005). Des recherches plus approfondies sur l'hydrologie, le drainage et le changement climatique sont donc nécessaires. Dans les zones rurales, l'accès futur à l'eau via de petites rivières de surface doit également être évalué dans les pays qui partagent des bassins fluviaux (par exemple de Wit et Stankiewicz, 2006). [GT II 9.4.1]

On considère que la capacité d'adaptation et l'adaptation liées aux ressources en eau sont d'une importance capitale pour le continent africain. Historiquement, l'une des solutions d'adaptation possibles face à la sécheresse et aux crues a été la migration. La migration représente également une source de revenus pour les migrants qui sont employés en tant que main-d'œuvre saisonnière. Les techniques traditionnelles et modernes de récupération, de conservation et de stockage de l'eau, ainsi que la culture de variétés précoces et résistantes à la sécheresse constituent des pratiques alternatives qui contribuent à l'adaptation. L'importance de la prise en compte du savoir-faire en matière de récupération et d'utilisation de l'eau a été soulignée comme l'une des exigences les plus importantes pour

l'adaptation (Osman-Elasha *et al.*, 2006), ce qui implique de l'intégrer dans les politiques relatives au changement climatique pour garantir le développement de stratégies d'adaptation efficaces qui soient rentables, participatives et durables. [GT II 9.5.1, tableau 17.1]

Il existe très peu d'informations sur le coût des incidences et de l'adaptation au changement climatique pour les ressources en eau en Afrique. Toutefois, une évaluation initiale des coûts des mesures d'adaptation, dans le bassin de la rivière Berg en Afrique du Sud, montre que les coûts d'une non-adaptation au changement climatique peuvent être bien supérieurs à ceux susceptibles de survenir si des approches efficaces et souples font partie des solutions de gestion (voir Stern, 2007). [GT II 9.5.2]

## 5.2 Asie

### 5.2.1 Contexte

En Asie, la distribution de l'eau est inégale et une grande partie de sa superficie est soumise à un stress hydrique. Parmi les 43 pays que compte l'Asie, 20 ont un volume annuel par habitant de ressources en eau renouvelables supérieur à 3 000 m<sup>3</sup>, 11 ont un volume compris entre 1 000 et 3 000 m<sup>3</sup> et 6 ont un volume inférieur à 1 000 m<sup>3</sup> (il n'existe pas de données pour les six derniers pays) (FAO, 2004a, b, c). [GT II tableau 10.1] Il existe de grandes superficies de terres arides et semi-arides de la Chine occidentale et de la Mongolie jusqu'en Asie occidentale. [GT II 10.2] Même dans les zones humides et subhumides de l'Asie, la rareté de l'eau ou le stress hydrique représentent l'une des barrières au développement durable. En revanche, en Asie, la population est nombreuse et croît rapidement, et les niveaux de développement ainsi que les capacités d'adaptation sont faibles. Le changement climatique devrait aggraver la rareté de l'eau en Asie, ainsi que de nombreuses contraintes socioéconomiques. [GT II 10.2]

### 5.2.2 Incidences observées du changement climatique sur l'eau

#### 5.2.2.1 Ressources en eau douce

La variabilité spatiale, intersaisonnière et interannuelle des précipitations a été observée au cours des dernières décennies dans toute l'Asie. On a relevé des tendances à la diminution des précipitations annuelles moyennes en Russie, dans le nord-est et le nord de la Chine, dans les ceintures côtières et les plaines arides du Pakistan, dans les régions du nord-est de l'Inde, en Indonésie, aux Philippines et dans certaines régions du Japon. La tendance est en revanche à l'augmentation en Chine occidentale, dans le bassin du fleuve Chang Jiang et sur la côte sud-est de la Chine, dans la péninsule Arabique, au Bangladesh et le long

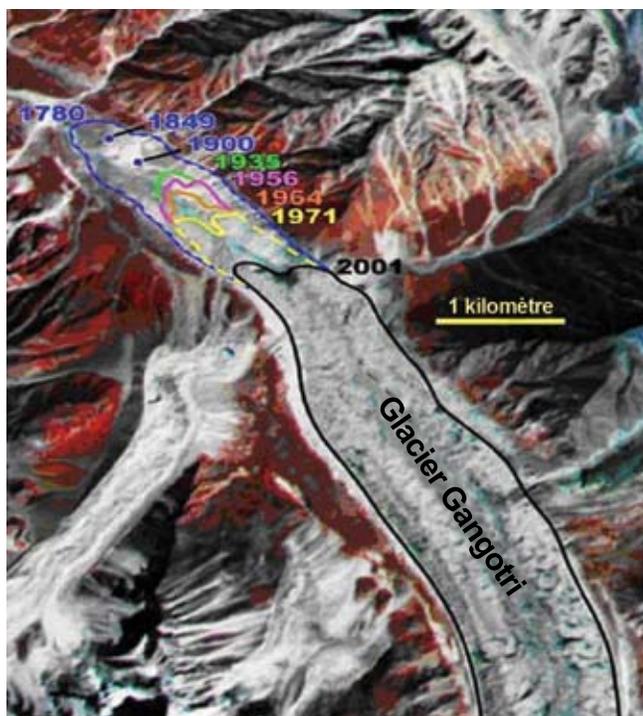
des côtes occidentales des Philippines. En Asie du Sud-Est, on a rapporté que les phénomènes météorologiques extrêmes associés au phénomène *El Niño* ont été plus fréquents et intenses au cours des 20 dernières années (Trenberth et Hoar, 1997; Aldhous, 2004). Il est important de noter qu'il existe une grande variabilité interdécennale en ce qui concerne les moussons de l'Inde et de l'Asie orientale. [GT I 3.3.2, 3.7.1; GT II 10.2.2, 10.2.3]

En général, la fréquence des épisodes pluvieux plus intenses a augmenté dans de nombreuses régions d'Asie, provoquant des inondations, des glissements de terrain ainsi que des coulées de boue et de débris importants, alors que le nombre de jours de pluie et le volume total annuel des précipitations ont diminué (Zhai *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2000; Shrestha *et al.*, 2000; Izrael et Anokhin, 2001; Mirza, 2002; Kajiwara *et al.*, 2003; Lal, 2003; Min *et al.*, 2003; Ruosteenoja *et al.*, 2003; Zhai et Pan, 2003; Gruza et Rankova, 2004; Zhai, 2004). Cependant, certains rapports font état d'une tendance à la baisse de la fréquence des pluies extrêmes dans certains pays (Manton *et al.*, 2001; Kanai *et al.*, 2004). [GT II 10.2.3]

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans de nombreuses régions d'Asie est attribuée en grande partie à l'élévation des températures, en particulier pendant les mois d'été, normalement plus secs, et pendant les épisodes ENSO (Webster *et al.* 1998; Duong, 2000; PAGASA, 2001; Lal, 2002, 2003; Batima, 2003; Gruza et Rankova, 2004; Natsagdorj *et al.*, 2005). [GT I encadré 3.6; GT II 10.2.3]

Le dégel rapide du pergélisol et la diminution de l'épaisseur des sols gelés [GT I 4.7.2], en grande partie dus au réchauffement, ont menacé un grand nombre de villes et d'établissements humains et ont été à l'origine de glissements de terrain plus fréquents et de la dégénérescence de certains écosystèmes forestiers. Ils ont également entraîné une augmentation du niveau d'eau des lacs dans la région de pergélisol en Asie (Osterkamp *et al.*, 2000; Guo *et al.*, 2001; Izrael et Anokhin, 2001; Jorgenson *et al.*, 2001; Izrael *et al.*, 2002; Fedorov et Konstantinov, 2003; Gavriliev et Efremov, 2003; Melnikov et Revson, 2003; Nelson, 2003; Tumerbaatar, 2003; ACIA, 2005). [GT II 10.2.4.2]

En moyenne, les glaciers asiatiques fondent à une vitesse constante depuis les années 1960 au moins (figure 2.6). [GT I 4.5.2] Cependant, certains glaciers peuvent s'écarter de ce schéma: certains d'entre eux progressent ou voient augmenter leur épaisseur, probablement en raison d'une augmentation des précipitations (par exemple, dans le centre du Karakorum) (Hewitt, 2005). [GT I 4.5.3] Du fait de la fonte continue des glaciers, le ruissellement et la fréquence des débâcles glaciaires des lacs ont augmenté, occasionnant des coulées de boue et des avalanches (Bhadra, 2002; WWF, 2005). [GT II 10.2.4.2]



**Figure 5.5:** Image satellite composite montrant le recul du front du glacier Gangotri (source du Gange, située en Uttarakhand, en Inde) depuis 1780 (avec la permission du centre de données EROS de la NASA, 9 septembre 2001). [GT II figure 10.6]

La figure 5.5 montre le recul (depuis 1780) du glacier Gangotri, source du Gange, situé en Uttarakhand, en Inde. Bien que ce recul ait été lié à un changement climatique anthropique, aucune étude formelle d'attribution n'a été réalisée. Il convient de noter que la langue de ce glacier particulier est plutôt plate et couverte de débris. Il est difficile de lier le recul de telles langues à un signal climatique particulier, étant donné que la présence de débris retarde le signal. Les langues plates ont tendance à s'écrouler subitement, avec un changement de surface consécutif, après un amincissement de plusieurs décennies caractérisé par une modification relativement limitée de leur étendue. [GT II 10.6.2]

Dans des régions de Chine, l'augmentation de la température et la diminution des précipitations, ainsi que l'augmentation de la consommation d'eau ont entraîné des pénuries d'eau qui ont occasionné l'assèchement de lacs et de rivières. En Inde, au Pakistan, au Népal et au Bangladesh, on a attribué des pénuries d'eau à des problèmes tels que l'urbanisation et l'industrialisation rapides, la croissance démographique et l'inefficacité de la consommation d'eau. Tous ces problèmes sont aggravés du fait du changement climatique et de ses incidences néfastes sur la demande et la qualité de l'eau, ainsi que sur l'approvisionnement en eau. Dans les pays situés dans les bassins du Brahmapoutre-Gange-Meghna et de l'Indus, des pénuries d'eau ont

également été la conséquence du stockage d'eau de la part des riverains en amont. Dans les régions arides et semi-arides de l'Asie centrale et occidentale, les changements du climat et sa variabilité continuent de défier la capacité des pays à faire face à l'augmentation croissante de la demande en eau (Abu-Taleb, 2000; Ragab et Prudhomme, 2002; Bou-Zeid et El-Fadel, 2002; PNUE/GRID-Arendal, 2002). Selon les rapports, la diminution des précipitations et l'augmentation de la température couramment associées au phénomène ENSO ont augmenté les pénuries d'eau, en particulier dans les régions d'Asie où les ressources en eau subissent déjà des contraintes du fait des demandes croissantes en eau et de sa consommation inefficace (Manton *et al.*, 2001). [GT II 10.2.4.2]

### 5.2.2.2 Agriculture

La production de riz, de maïs et de blé a diminué au cours des dernières décennies dans de nombreuses régions d'Asie à cause de l'augmentation du stress hydrique, dû en partie à l'augmentation de la température, de la fréquence des épisodes *El Niño* et à la réduction du nombre de jours de pluie (Wijeratne, 1996; Agarwal *et al.*, 2000; Jin *et al.*, 2001; Fischer *et al.*, 2002a; Tao *et al.*, 2003a, 2004). [GT II 10.2.4.1]

### 5.2.2.3 Biodiversité

Avec la diminution progressive des chutes de pluie pendant la période de croissance des graminées, le centre et l'ouest de l'Asie sont devenus plus arides ces dernières années, avec une réduction du développement des pâturages et une augmentation de la nudité de la surface du sol (Bou-Zeid et El-Fadel, 2002). Cette nudité accrue a entraîné une augmentation du réfléchissement du rayonnement solaire et, ainsi, une augmentation de l'évaporation de l'humidité et un assèchement croissant du sol dans un processus de rétroaction, ce qui vient participer à l'accélération de la dégradation des pâturages (Zhang *et al.*, 2003). [GT II 10.2.4.4]

La diminution des précipitations et les sécheresses dans la plupart des régions de delta au Pakistan, au Bangladesh, en Inde et en Chine ont entraîné un assèchement des zones humides et une dégradation importante des écosystèmes. Les sécheresses récurrentes de 1999 à 2001, ainsi que la construction de réservoirs en amont et l'utilisation inadéquate des eaux souterraines, ont mené à l'assèchement de la zone de Momoge, située dans la plaine de Songnen, au nord-est de la Chine (Pan *et al.*, 2003). [GT II 10.2.4.4]

## 5.2.3 Incidence prévue du changement climatique sur l'eau et principales vulnérabilités

### 5.2.3.1 Ressources en eau douce

Des changements dans la saisonnalité et l'ampleur du débit des systèmes fluviaux sont attendus suite au changement

climatique. Dans certaines régions de Russie, le changement climatique pourrait altérer significativement la variabilité du ruissellement fluvial, de telle manière que des épisodes de ruissellement extrêmement faible pourraient survenir bien plus fréquemment dans les régions cultivées du sud-ouest (Peterson *et al.*, 2002). La disponibilité en eau de surface des principaux fleuves tels que l'Euphrate et le Tigre pourrait être affectée par l'altération de l'écoulement fluvial. Au Liban, les ressources annuelles nettes en eau utilisable diminueraient de 15 % suite à une augmentation moyenne de la température estimée par le MCG de 1,2 °C dans des conditions où la concentration en CO<sub>2</sub> aurait doublé, alors que les débits des fleuves augmenteraient en hiver et diminueraient au printemps (Bou-Zeid et El-Fadel, 2002). Le débit mensuel maximal du Mékong devrait augmenter de 35 à 41 % dans le bassin et de 16 à 19 % dans le delta; la valeur estimée la plus basse correspondrait aux années 2010 à 2038 et la valeur la plus élevée aux années 2070 à 2099, par rapport aux niveaux de 1961 à 1990. En revanche, on estime que les débits mensuels minimaux diminueraient de 17 à 24 % dans le bassin et de 26 à 29 % dans le delta (Hoanh *et al.*, 2004) [GT II encadré 5.3], ce qui laisse à penser qu'il pourrait y avoir un risque d'inondation plus élevé pendant la saison humide et un risque accru de pénurie d'eau pendant la saison sèche. [GT II 10.4.2.1]

Les inondations pourraient étendre l'habitat des pêcheries d'eau saumâtre, mais pourraient également nuire gravement à l'industrie et aux infrastructures d'aquaculture, en particulier dans les mégadeltas démographiquement denses. Une réduction des débits de saison sèche pourrait réduire le recrutement chez certaines espèces. Dans certaines régions d'Asie centrale, des augmentations régionales de la température devraient entraîner un risque accru d'épisodes tels que des coulées de boue et des avalanches, qui pourraient être néfastes aux établissements humains (Iaiazova, 1997). [GT II 10.4.2.1]

Une intrusion d'eau salée dans les estuaires causée par la diminution du débit des cours d'eau peut pénétrer de 10 à 20 km à l'intérieur des terres, suite à l'élévation du niveau de la mer (Shen *et al.*, 2003; Yin *et al.*, 2003; Thanh *et al.*, 2004). Une augmentation de la température de l'eau et l'eutrophisation des estuaires des fleuves Zhuj Jiang et Chang Jiang ont entraîné la formation d'un horizon profond déficient en oxygène et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité de «marées rouges» (Hu *et al.*, 2001). Une élévation du niveau de la mer de 0,4 à 1,0 m peut provoquer une intrusion d'eau salée de 1 à 3 km vers l'intérieur des terres dans l'estuaire du fleuve Zhuj Jiang (Huang et Xie, 2000). Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans la région du bassin hydrographique aggraverait cette intrusion et la rendrait plus fréquente (Xu, 2003; Thanh *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2005) et, ainsi, nuirait à la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. [GT II 10.4.2.1, 10.4.3.2]

Les conséquences d'une fonte accrue des neiges et des glaciers, ainsi que de l'élévation de la limite des neiges éternelles seraient défavorables à l'agriculture en aval dans plusieurs pays du sud et du centre de l'Asie. Le volume et la vitesse de fonte de la neige au printemps devraient augmenter dans le nord-ouest de la Chine et l'ouest de la Mongolie. Le dégel pourrait être également plus précoce, ce qui augmenterait certaines sources d'eau et pourrait entraîner des crues au printemps. Par contre, d'importantes pénuries d'eau disponible pour le bétail sont prévues pour la fin du siècle (Batima *et al.*, 2004, 2005). [GT II 10.4.2, 10.6]

D'après les projections à moyen terme, la fonte accrue des neiges et des glaciers provoquée par le changement climatique devrait entraîner des crues. Ces types de crues sont souvent le résultat de l'élévation du niveau de l'eau due à l'obstruction des cours d'eau par les glaces dérivantes. [GT II 10.4.2, 10.6]

L'extrapolation linéaire des changements observés permet de prévoir une augmentation de la température de l'air en surface dans le nord-ouest de la Chine, ce qui entraînerait une réduction de 27 % de la superficie des glaciers, une diminution de 10 à 15 % de la superficie des sols gelés, une augmentation des crues et des coulées de débris, ainsi qu'une aggravation des pénuries d'eau à l'horizon 2050, par rapport à la période de 1961 à 1990 (Qin, 2002). La durée du manteau neigeux saisonnier dans les régions alpines, à savoir le plateau du Tibet, le Xinjiang et la Mongolie-Intérieure, devrait raccourcir et entraîner une diminution du volume et d'importantes sécheresses de printemps. Une réduction de 20 à 40 % du ruissellement par habitant est *probable* dans les provinces de Ningxia, Xinjiang et Qinghai d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (Tao *et al.*, 2005). Par ailleurs, les contraintes pesant sur les ressources en eau consécutives à la croissance démographique et au développement socioéconomique vont *probablement* augmenter. Higashi *et al.* (2006) prévoient que le risque de crues à Tokyo (Japon) entre 2050 et 2300, d'après le scénario A1B du SRES, sera *probablement* multiplié par 1,1 à 1,2 par rapport à la situation actuelle. [GT II 10.4.2.3]

La disponibilité en eau brute par habitant en Inde devrait diminuer de 1 820 m<sup>3</sup>/an environ en 2001 à seulement 1 140 m<sup>3</sup>/an en 2050, en raison de la croissance démographique (Gupta et Deshpande, 2004). Une autre étude indique que l'Inde atteindra un état de stress hydrique avant 2025, quand la disponibilité pourrait descendre en dessous de 1 000 m<sup>3</sup> par habitant (CWC, 2001). Ces changements sont dus à des facteurs climatiques et démographiques, dont la contribution relative est méconnue. La diminution prévue des précipitations hivernales dans le sous-continent indien entraînerait un stockage diminué et un stress hydrique accru pendant la période de mousson pauvre en pluies. Des pluies intenses étalées sur moins de jours, ce qui implique une augmentation de la fréquence des crues pendant la mousson, pourraient également entraîner

une réduction du potentiel d'alimentation des nappes souterraines. L'extension des zones souffrant d'un important stress hydrique sera l'un des problèmes environnementaux les plus importants dans le sud et le sud-est de l'Asie dans le futur, du fait que le nombre absolu de personnes subissant un important stress hydrique augmentera *probablement* considérablement. Tous les scénarios du SRES prévoient des chiffres de 120 millions à 1,2 milliard et de 185 à 981 millions pour le nombre de personnes qui devront faire face à une augmentation du stress hydrique à l'horizon 2020 et 2050, respectivement (Arnell, 2004). Une diminution de 13 à 19 % du débit annuel du fleuve Rouge, et de 16 à 24 % du fleuve Mékong est prévue pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, ce qui contribuerait à augmenter le stress hydrique (BASD, 1994). [GT II 10.4.2]

### 5.2.3.2 Énergie

Des changements dans le ruissellement pourraient avoir un effet significatif sur la génération d'énergie des pays producteurs d'énergie hydraulique tels que le Tadjikistan, qui est le troisième producteur d'hydroélectricité dans le monde (Banque mondiale, 2002). [GT II 10.4.2]

### 5.2.3.3 Agriculture

La demande en irrigation agricole dans les régions arides et semi-arides de l'Asie devrait augmenter d'au moins 10 % pour une augmentation de 1 °C de la température (Fischer *et al.*, 2002a; Liu, 2002). D'après l'étude de Tao *et al.* (2003b), les cultures pluviales des plaines du nord et du nord-est de la Chine pourraient être confrontées à des problèmes liés à l'eau au cours des décennies à venir, causés par une augmentation de la demande en eau et par le déficit en humidité du sol lié à la diminution prévue des précipitations. Cependant, il convient de noter que plus des deux tiers des modèles regroupés dans les figures 2.8 et 2.10 indiquent une augmentation des précipitations et du ruissellement pour cette région. Dans le nord de la Chine, l'irrigation provenant des eaux de surface et des eaux souterraines ne devrait satisfaire que 70 % des besoins en eau de la production agricole, en raison des effets du changement climatique et de la demande croissante (Liu *et al.*, 2001; Qin, 2002). [GT II 10.4.1] La variabilité accrue des caractéristiques hydrologiques continuera *probablement* d'affecter les approvisionnements en céréales et la sécurité alimentaire dans de nombreux pays d'Asie. [GT II 10.4.1.2]

## 5.2.4 Adaptation et vulnérabilité

Actuellement, la vulnérabilité face à l'eau n'est pas la même pour tous les pays asiatiques. Certains pays qui ne sont pas actuellement confrontés à un risque élevé devraient subir un stress hydrique à l'avenir, avec des capacités d'adaptation diverses. Les régions côtières, en particulier les régions fortement peuplées des mégadeltas du sud, de l'est et du sud-est de l'Asie, seraient les plus exposées à un risque d'inondations fluviales et côtières. Dans le sud et l'est de l'Asie, l'interaction entre les incidences du

changement climatique et la rapide croissance économique et démographique, ainsi que la migration des zones rurales vers les zones urbaines, devraient affecter le développement. [GT II 10.2.4, 10.4, 10.6]

La vulnérabilité de la société est influencée par son mode de développement, son exposition physique, la distribution des ressources, les contraintes antérieures, ainsi que par les institutions sociales et gouvernementales. Toutes les sociétés ont des aptitudes inhérentes à faire face à certaines variations climatiques, mais les capacités d'adaptation sont inégalement distribuées, tant d'un pays à l'autre qu'au sein des sociétés. Les populations pauvres et marginalisées ont été davantage menacées dans le passé et sont les plus vulnérables aux incidences du changement climatique. Des analyses récentes en Asie montrent que les groupes marginalisés qui dépendent de ressources primaires pour leur subsistance sont particulièrement vulnérables aux incidences du changement climatique si leur base de ressources subit des contraintes lourdes et est dégradée du fait d'une exploitation excessive, ou si leurs systèmes de gouvernance ne sont pas capables de réagir efficacement (Leary *et al.*, 2006). [GT II 17.1] Les preuves d'une adaptation en réponse au changement climatique observé et prévu sont de plus en plus nombreuses. Par exemple, le changement climatique est pris en compte dans la conception des projets d'infrastructure, comme le projet de protection du littoral aux Maldives et la prévention des inondations dues aux débâcles glaciaires des lacs au Népal (voir encadré 5.4). [GT II 17.2, 17.5, 16.5]

Dans certaines régions d'Asie, la conversion de terres cultivées (pâturages) en forêt, la restauration et le rétablissement de la végétation, l'amélioration des variétés d'arbres et d'herbacées, ainsi que la sélection et la culture de nouvelles variétés résistant à la sécheresse pourraient être des mesures efficaces pour prévenir la pénurie d'eau due au changement climatique. Des stratégies d'économie d'eau pour l'irrigation pourraient être mises en place pour prévenir la pénurie d'eau dans des régions déjà soumises à un stress hydrique (Wang, 2003). Dans le nord de l'Asie, le recyclage et la réutilisation des eaux usées municipales (Frolov *et al.*, 2004) et l'augmentation de l'efficacité de la consommation d'eau pour l'irrigation et à d'autres fins (Alcamo *et al.*, 2004) permettraient *probablement* d'éviter la pénurie d'eau. [GT II 10.5.2]

Dans plusieurs régions d'Asie, de nombreuses mesures d'adaptation pourraient être appliquées pour réduire le plus possible les incidences du changement climatique sur les ressources en eau. Certaines d'entre elles concernent l'utilisation inefficace de l'eau actuelle, à savoir:

- La modernisation des schémas d'irrigation existants et la gestion de la demande visant à optimiser l'efficacité physique et économique de l'utilisation des ressources en eau et de l'eau recyclée, dans les pays soumis à un stress hydrique;

### Encadré 5.4: Projet de réduction des risques pour le lac Tsho Rolpa (Népal) en tant que mesure d'adaptation anticipative observée [GT II encadré 17.1]

Le lac Tsho Rolpa est un lac glaciaire situé au Népal, à une altitude d'environ 4 580 m. Le recul du glacier a augmenté la superficie du lac, qui est passée de 0,23 km<sup>2</sup> en 1957/58 à 1,65 km<sup>2</sup> en 1997 (figure 5.6). Les 90 à 100 millions de m<sup>3</sup> d'eau contenus dans le lac à cette époque n'étaient retenus que par un barrage de moraine, situation qui exigeait une action urgente pour réduire le risque d'une crue catastrophique de rupture du lac glaciaire.

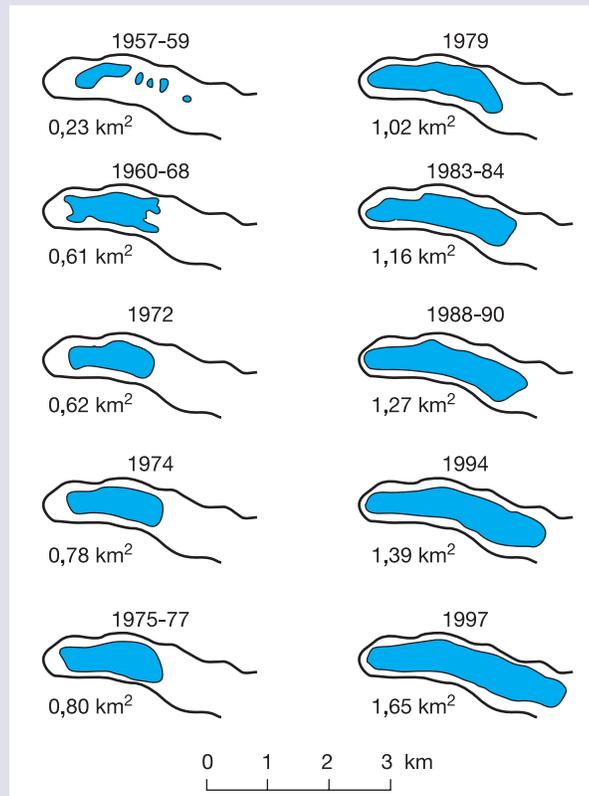


Figure 5.6: Changements dans la région du lac Tsho Rolpa au fil du temps

Si le barrage venait à céder, un tiers de l'eau au moins s'écoulerait en aval. Cette situation représentait, entre autres, un risque important pour la centrale hydroélectrique de Khimti, qui était en cours de construction en aval. Ces dangers ont décidé le Gouvernement du Népal à démarrer un projet en 1998, avec l'aide de donateurs internationaux, pour abaisser le niveau d'eau du lac par drainage. Pour réduire le risque d'une débâcle glaciaire, un groupe d'experts a recommandé que le niveau du lac soit abaissé de trois mètres par creusement d'un canal dans la moraine. Une vanne a été construite pour contrôler la libération de l'eau. Pendant ce temps, un système d'alerte précoce a été mis en place dans 19 villages en aval, pour le cas où une débâcle glaciaire du Tsho Rolpa viendrait à se produire malgré ces efforts. Les habitants des villages locaux ont été activement associés à la conception du système et des exercices d'évacuation sont réalisés périodiquement. L'année 2002 a vu l'aboutissement du projet de construction dont le coût s'est élevé à 3,2 millions de dollars des États-Unis. Il est clair que la réduction des risques de crues de rupture des lacs glaciaires nécessite des investissements importants et prend du temps, car la prévention complète d'une crue de cette nature exigerait un drainage supplémentaire pour abaisser le niveau du lac.

Le cas du lac Tsho Rolpa doit être examiné dans un contexte plus large. La fréquence des crues de rupture de lacs glaciaires dans la chaîne de l'Himalaya, au Népal, au Bhoutan et au Tibet a augmenté de 0,38 épisode/an dans les années 1950 à 0,54 épisode/an dans les années 1990. [GT II 1.3.1.1]

Sources: Mool *et al.* (2001), OCDE (2003), Shrestha et Shrestha (2004).

- Les politiques d'investissement public pour améliorer l'accès aux ressources en eau disponibles, encourager la gestion intégrée de l'eau et le respect de l'environnement, et préconiser de meilleures pratiques, pour une utilisation sensée de l'eau dans l'agriculture;
- L'utilisation de l'eau destinée à satisfaire les demandes en eau non potable. Après traitement, l'eau recyclée peut également être utilisée pour créer ou améliorer les zones humides et les habitats riverains. [GT II 10.5.2]

L'adaptation efficace et la capacité d'adaptation, en particulier dans les pays asiatiques en développement, continueront d'être limitées par diverses contraintes d'ordre écologique, social, économique, technique, institutionnel et politique. Le recyclage de l'eau constitue une approche durable de l'adaptation au changement climatique et pourrait s'avérer rentable sur le long terme. Cependant, le traitement des eaux usées en vue d'une réutilisation (ce qui est pratiqué actuellement à Singapour), et l'installation de systèmes de distribution, peuvent s'avérer initialement onéreux par rapport aux autres solutions d'approvisionnement en eau, notamment l'utilisation d'eau importée ou des eaux souterraines. Toutefois, il s'agit de solutions d'adaptation potentiellement importantes dans de nombreux pays d'Asie. La diminution du gaspillage et des fuites d'eau pourrait être mise en pratique afin d'amortir les diminutions d'approvisionnement en eau dues à la réduction des précipitations et à la hausse des températures. Des approches axées sur le marché dans un but de réduire le gaspillage d'eau pourraient également être efficaces pour diminuer les impacts négatifs du changement climatique sur les ressources en eau. Dans des fleuves tels que le Mékong, où les débits devraient augmenter pendant la saison humide et diminuer pendant la saison sèche, des interventions planifiées de gestion de l'eau via des barrages et des réservoirs pourraient diminuer en partie les débits des saisons humides et augmenter sensiblement ceux des saisons sèches. [GT II 10.5.2, 10.5.7]

## 5.3 Australie et Nouvelle-Zélande

### 5.3.1 Contexte

Bien que l'Australie et la Nouvelle-Zélande soient très différentes du point de vue hydrologique et géologique, ces deux pays subissent déjà des incidences du récent changement climatique sur l'approvisionnement en eau, en raison de la variabilité naturelle et de l'activité humaine. Le moteur régional le plus important de la variabilité naturelle du climat est le cycle *El Niño*-oscillation australe (paragraphe 2.1.7). Depuis 2002, la sécheresse sévit dans pratiquement tous les états orientaux et dans la région sud-ouest de l'Australie. Cette sécheresse est au moins comparable aux épisodes de «Federation droughts» (sécheresses de la Fédération) de 1895 et de 1902, et elle a suscité un grand débat sur le changement climatique et son incidence sur les ressources en eau, ainsi que sur la gestion durable de l'eau. [GT II 11.2.1, 11.2.4]

Des augmentations de la demande en eau ont fait peser des contraintes sur la capacité d'approvisionnement pour l'irrigation, les villes, l'industrie et les flux environnementaux. La demande accrue observée depuis les années 1980 en Nouvelle-Zélande est due à une intensification de l'agriculture (Woods et Howard-Williams, 2004). La superficie irriguée dans ce pays a augmenté d'environ 55 % par décennie depuis les années 1960 (Lincoln Environmental, 2000). De 1985 à 1996, la demande en eau a augmenté de 65 % en Australie (NLWRA, 2001), où la salinité des terres arides, la modification du régime fluvial, la suraffectation et l'utilisation inefficace des ressources en eau, le défrichement, l'intensification de l'agriculture et la fragmentation des écosystèmes sont des sources majeures de stress environnemental (SOE, 2001; Cullen, 2002). Dans le contexte du changement climatique prévu, l'approvisionnement en eau est l'un des secteurs les plus vulnérables en Australie et il devrait représenter un problème critique dans certaines régions de la Nouvelle-Zélande. [GT II 11.RE, 11.2.4, 11.7]

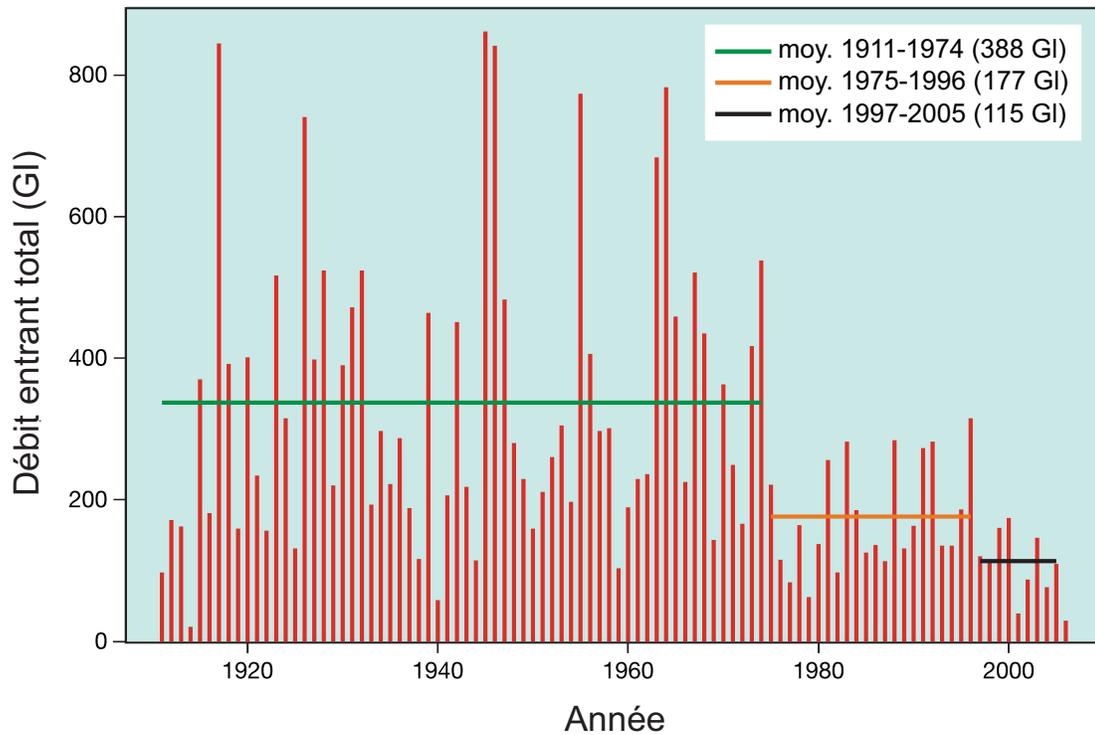
### 5.3.2 Changements observés

La région du sud-ouest de l'Australie-Occidentale, caractérisée par des chutes de pluie hivernales, a subi une importante diminution des chutes de pluie de mai à juillet depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Les effets de cette diminution sur le ruissellement naturel ont été très sensibles, comme le montre la chute de 50 % des apports annuels aux réservoirs alimentant la ville de Perth (figure 5.7). Des contraintes semblables ont pesé sur les ressources locales en eaux souterraines et sur les zones humides. Ces faits ont été accompagnés d'une augmentation de 20 % de la consommation domestique en 20 ans et d'une croissance démographique de 1,7 % par an (IOCI, 2002). Bien qu'aucune étude d'attribution n'ait été disponible au moment de l'élaboration du quatrième Rapport d'évaluation, des simulations du climat ont indiqué qu'au moins une partie de l'assèchement observé était liée à une augmentation de l'effet de serre (IOCI, 2002). Ces dernières années, une sécheresse intense de plusieurs années a sévi dans les régions orientales et dans d'autres régions du sud de l'Australie. À titre d'exemple, le débit entrant total du fleuve Murray au cours des cinq années antérieures à 2006 a été le plus bas enregistré pour une séquence de cinq années. [GT II 11.6]

### 5.3.3 Changements prévus

#### 5.3.3.1 Eau

Les problèmes actuels liés à la sécurité hydrique vont *très probablement* augmenter d'ici 2030 dans les régions du sud et de l'est de l'Australie, ainsi que dans certaines régions de l'est de la Nouvelle-Zélande éloignées des principaux fleuves. [GT II 11.RE] Le bassin du Murray-Darling est le plus vaste bassin fluvial de l'Australie et fournit de l'eau à environ 70 % des cultures et des pâturages irrigués (MDBC, 2006). D'après les scénarios d'émissions A1 et B1 du SRES



**Figure 5.7:** Débit entrant du système d'approvisionnement en eau de Perth de 1911 à 2006. Les lignes horizontales indiquent les moyennes. Source: [http://www.watercorporation.com.au/D/dams\\_streamflow.cfm](http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm) (avec la permission de Water Corporation, Australie-Occidentale). [GT II figure 11.3]

et une large gamme de MCG, l'écoulement fluvial annuel dans ce bassin devrait chuter de 10 à 25 % d'ici 2050 et de 16 à 48 % d'ici 2100, avec des changements de salinité de -8 à +19 % et de -25 à +72 % respectivement (Beare et Heaney, 2002). [GT II tableau 11.5] Quant au ruissellement, il devrait diminuer de 0 à 45 % dans 29 bassins hydrographiques de l'État Victoria (Jones et Durack, 2005). D'après le scénario A2, les projections indiquent une chute de 6 à 8 % du ruissellement annuel dans la plus grande partie de l'est de l'Australie, et de 14 % dans le sud-ouest, au cours de la période 2021-2050, par rapport à celle de 1961 à 1990 (Chiew *et al.*, 2003). Une évaluation des risques pour la ville de Melbourne, fondée sur 10 modèles climatiques (d'après les scénarios B1, A1B et A1F du SRES) prévoit des chutes de l'écoulement fluvial moyen de 3 à 11 % d'ici 2020 et de 7 à 35 % d'ici 2050; toutefois, des actions planifiées côté demande et côté offre pourraient éviter les pénuries d'eau jusqu'en 2020 (Howe *et al.*, 2005). Il existe peu de données concernant les incidences futures sur les eaux souterraines en Australie. [GT II 11.4.1]

En Nouvelle-Zélande, les fleuves de l'Île du Sud connaîtront *très probablement* un ruissellement proportionnellement plus abondant en hiver et moins abondant en été (Woods et Howard-Williams, 2004). Ils fourniront *très probablement* davantage d'eau à des fins de génération hydroélectrique durant la période de pointe, en hiver, et réduiront la dépendance vis-à-vis des lacs de stockage de

l'eau destinés au transfert de la capacité de production à l'hiver suivant. Cependant, les industries dépendantes de l'irrigation (notamment les industries laitière, céréalière, horticole) subiront *probablement* des effets négatifs dus à une plus faible disponibilité en eau au printemps et en été, leur période de pointe de demande. La fréquence des sécheresses augmentera *très probablement* dans les régions orientales, avec d'éventuelles pertes de la production agricole des terres non irriguées (Mullan *et al.*, 2005). Il est *pratiquement certain* que les effets du changement climatique sur la fréquence des crues et des sécheresses seront modulés par les phases des phénomènes ENSO et OIP (McKerchar et Henderson, 2003). Selon tous les scénarios examinés, l'aquifère d'eaux souterraines pour la ville d'Auckland dispose d'une capacité de réserve pour la recharge (Namjou *et al.*, 2006). Il est *très improbable* que les débits de base des principaux cours d'eau et des sources soient compromis, à moins que ne sévisse une sécheresse pendant de nombreuses années consécutives. [GT II 11.4.1.1]

### 5.3.3.2 Énergie

En Australie et en Nouvelle-Zélande, le changement climatique pourrait affecter la production d'énergie dans les régions où les réductions de l'approvisionnement en eau liées au climat entraînent des réductions du volume d'eau d'alimentation pour les turbines hydroélectriques et le refroidissement des centrales thermiques. En Nouvelle-Zélande, l'augmentation de la vitesse des vents d'ouest

augmentera *très probablement* la génération éolienne et le déversement des précipitations dans les principaux bassins hydrographiques de l'Île du Sud, et augmentera le volume des précipitations hivernales dans le bassin hydrographique du Waikato (Ministère de l'environnement, 2004). Il est *pratiquement certain* que le réchauffement augmentera la fonte des neiges, le rapport pluviométrie sur neige, ainsi que les débits fluviaux en hiver et au début du printemps. Cela sera *très probablement* utile pour la génération hydro-électrique au moment de la période de pointe de la demande d'énergie pour le chauffage. [GT II 11.4.10]

### 5.3.3.3 Santé

L'étendue géographique et la saisonnalité de certaines maladies infectieuses transmises par les moustiques seront *probablement* modifiées, notamment en ce qui concerne la maladie de la Ross River, la dengue et le paludisme. Des épisodes pluvieux moins nombreux mais plus intenses influenceront *probablement* la reproduction du moustique et augmenteront la variabilité des taux annuels d'incidence de la maladie de la Ross River, en particulier dans les régions tempérées et semi-arides (Woodruff *et al.*, 2002, 2006). La dengue représente un grand danger en Australie; le climat de l'extrême nord est déjà propice à *Aedes aegypti* (principal moustique vecteur du virus de la dengue), et la fréquence et l'ampleur des épidémies de cette maladie ont augmenté dans l'extrême nord de l'Australie au cours de la dernière décennie. Il est peu *probable* que le paludisme s'installe, à moins que les stratégies de parade des autorités sanitaires ne se dégradent considérablement (McMichael *et al.*, 2003). [GT II 11.4.11]

L'eutrophisation est un problème majeur pour la qualité de l'eau (Davis, 1997; SOE, 2001). La fréquence et la durée des fleurs d'eau toxiques augmenteront *probablement* en raison du changement climatique. Elles peuvent représenter un danger pour la santé humaine dans les eaux de loisirs et de consommation et peuvent tuer les poissons et le bétail (Falconer, 1997). Des stratégies adaptatives de gestion simples et neutres vis-à-vis des ressources, telles que des chasses, peuvent réduire sensiblement leur survenue et leur installation dans des masses d'eau riches en éléments nutritifs et thermiquement stratifiées (Viney *et al.*, 2003). [GT II 11.4.1]

### 5.3.3.4 Agriculture

De grands décalages dans la distribution géographique de l'agriculture et de ses services sont *très probables*. Il ne sera *probablement* plus possible d'exploiter les terres marginales dans les régions les plus sèches en raison des pénuries d'eau, de nouveaux risques liés à la biosécurité, d'une dégradation de l'environnement et d'une perturbation sociale. [GT II 11.7] Les cultures et les autres industries agricoles dépendant de l'irrigation seront *probablement* menacées lorsque la disponibilité en eau pour l'irrigation sera réduite. Pour le maïs en Nouvelle-Zélande, une diminution de la durée

de la croissance réduit les besoins en eau des cultures et permet une synchronisation plus étroite du développement et des conditions climatiques saisonnières (Sorensen *et al.*, 2000). La distribution de la viticulture dans les deux pays sera probablement modifiée en fonction de l'adéquation par rapport à des pâturages à haut rendement et à la sylviculture, et de la disponibilité en eau pour l'irrigation ainsi que de son coût (Hood *et al.*, 2002; Miller et Veltman, 2004; Jenkins, 2006). [GT II 11.4.3]

### 5.3.3.5 Biodiversité

Les incidences sur la structure, la fonction et la composition des espèces de nombreux écosystèmes naturels seront *probablement* importantes à l'horizon 2020, et il est *pratiquement certain* qu'elles aggraveront les contraintes existantes telles que les espèces envahissantes et la perte de l'habitat (notamment pour les oiseaux migrateurs), qu'elles augmenteront le risque d'extinction d'espèces, qu'elles dégraderont un grand nombre de systèmes naturels et qu'elles entraîneront une diminution des écoservices pour l'approvisionnement en eau. L'incidence du changement climatique sur les ressources en eau interagira également avec d'autres sources de stress telles que les espèces envahissantes et la fragmentation de l'habitat. L'intrusion d'eau salée consécutive à l'élévation du niveau de la mer, à la diminution du débit des rivières et à l'augmentation de la fréquence des sécheresses viendra *très probablement* perturber la composition des espèces des habitats d'eau douce, et aura donc des incidences sur les pêcheries dans les estuaires et les régions côtières (Bunn et Arthington, 2002; Hall et Burns, 2002; Herron *et al.*, 2002; Schallenberg *et al.*, 2003). [GT II 11.RE, 11.4.2]

## 5.3.4 Adaptation et vulnérabilité

Une adaptation planifiée peut grandement réduire la vulnérabilité, et la prise en compte des risques dus au changement climatique tant du côté de la demande que de celui de l'approvisionnement ouvre des possibilités (Allen Consulting Group, 2005). Dans les grandes villes telles que Perth, Brisbane, Sydney, Melbourne, Adélaïde, Canberra et Auckland, les préoccupations concernant les contraintes démographiques, la sécheresse persistante dans le sud et l'est de l'Australie, et l'incidence du changement climatique conduisent les planificateurs à envisager un large éventail de solutions d'adaptation concernant les ressources en eau. Tandis qu'un certain nombre d'options ont déjà été mises en œuvre en réponse au changement climatique observé (par exemple, des restrictions d'eau permanentes, le recyclage de l'eau, le dessalement de l'eau de mer) (voir tableau 5.2) [GT II tableaux 11.2, 11.6], les deux pays ont pris des mesures notables pour augmenter la capacité d'adaptation via une intensification de la recherche et de l'acquisition de connaissances, l'extension des évaluations des risques du changement climatique

pour les décideurs, l'intégration du changement climatique dans les politiques et les programmes, la sensibilisation et le traitement plus efficace des problèmes liés au climat. Cependant, il reste des barrières environnementales, économiques, informationnelles, sociales, comportementales et politiques à la mise en œuvre de l'adaptation. [GT II 11.5]

Dans les bassins hydrographiques urbains, les eaux d'orage et les eaux recyclées pourraient être utilisées pour augmenter l'approvisionnement, bien que les dispositifs institutionnels existants et les systèmes techniques mis en place pour la distribution de l'eau limitent la mise en œuvre de cette solution. De surcroît, la communauté montre une certaine réticence à l'utilisation d'eau recyclée pour la consommation humaine (notamment dans les villes comme Toowoomba dans le Queensland, et Goulburn en Nouvelle-Galles-du-Sud). L'installation de réservoirs d'eau de pluie peut être une autre réponse adaptative qui est actuellement activement encouragée via des politiques

d'incitation et de rabais. En ce qui concerne les activités rurales, des aménagements plus souples sont nécessaires pour les affectations, via l'extension des marchés de l'eau où les échanges peuvent augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Beare et Heaney, 2002). Des progrès considérables sont en cours dans ce domaine. Dans le cadre de l'initiative nationale sur l'eau, les États, les Territoires et le Gouvernement australien se sont actuellement engagés à poursuivre les meilleures pratiques en termes de tarification de l'eau et à mettre en œuvre des dispositions institutionnelles pour obtenir une facturation de l'eau cohérente. [GT II 11.5]

Lorsque les incidences du changement climatique sont combinées à d'autres tendances non climatiques, on constate des implications graves pour la durabilité en Australie et en Nouvelle-Zélande. Dans certains bassins versants, où une augmentation de la demande en eau urbaine et rurale a déjà dépassé les niveaux d'approvisionnement durables, les stratégies d'adaptation proposées et en

**Tableau 5.2:** Exemples de stratégies d'adaptation du gouvernement pour faire face aux pénuries d'eau en Australie. [GT II tableau 11.2] Il convient de noter que les chiffres relatifs aux investissements étaient corrects en 2007, au moment où le quatrième Rapport d'évaluation était sous presse, et qu'ils ne tiennent pas compte des développements ultérieurs.

Gouvernement	Stratégie	Investissement	Source
<b>Australie</b>	Aide financière contre la sécheresse pour les communautés rurales	0,7 milliard de dollars des États-Unis de 2001 à 2006	DAFF, 2006b
<b>Australie</b>	Initiative nationale sur l'eau, soutenue par le Fonds australien pour l'eau	1,5 milliard de dollars des États-Unis de 2004 à 2009	DAFF, 2006a
<b>Australie</b>	Accord relatif aux eaux du bassin du Murray-Darling	0,4 milliard de dollars des États-Unis de 2004 à 2009	DPMC, 2004
<b>Victoria</b>	Station de traitement de l'est de Melbourne pour la fourniture d'eau recyclée	225 millions de dollars des États-Unis à l'horizon 2012	Melbourne Water, 2006
<b>Victoria</b>	Nouvelles canalisations de Bendigo à Ballarat, recyclage de l'eau, interconnexions entre les barrages, réduction des infiltrations dans les canaux, mesures de conservation	153 millions de dollars des États-Unis à l'horizon 2015	Premier of Victoria, 2006
<b>Victoria</b>	Canalisation de Wimmera Mallee pour remplacer les canaux d'irrigation	376 millions de dollars des États-Unis à l'horizon 2010	Vic DSE, 2006
<b>Nouvelle-Galles-du-Sud</b>	Le Fonds pour l'eau de la Nouvelle-Galles-du-Sud soutient les projets qui économisent ou recyclent l'eau à Sydney	98 millions de dollars des États-Unis pour le 3 <sup>e</sup> volet, et plus de 25 millions de dollars des États-Unis à 68 autres projets	DEUS, 2006
<b>Queensland</b>	Plan pour l'eau 2005-2010 visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et sa qualité, recyclage, préparation aux sécheresses, nouvelle tarification de l'eau	Inclut 182 millions de dollars des États-Unis pour les infrastructures d'eau dans le sud-est du Queensland et 302 millions pour d'autres programmes d'infrastructure	Gouvernement du Queensland, 2005
<b>Australie-Méridionale</b>	Le projet «Water Proofing Adelaide» est un projet directeur pour la gestion, la conservation et le développement des ressources en eau d'Adélaïde jusqu'en 2025	N.d.	Gouvernement d'Australie-Méridionale 2005
<b>Australie-Occidentale</b>	Stratégie fédérale sur l'eau (2003) et Plan fédéral sur l'eau (proposé) La Water Corporation (société de gestion de l'eau) a doublé l'approvisionnement de 1996 à 2006	500 millions de dollars des États-Unis dépensés par la Water Corporation de 1996 à 2006, et 290 millions pour l'usine de dessalement de Perth	Gouvernement d'Australie-Occidentale, 2003, 2006; Water Corporation, 2006

cours [GT II 11.2.5] pourront probablement faire gagner du temps. Le maintien du développement côtier exigera probablement une planification et des réglementations plus strictes pour rester durable. [GT II 11.7]

## 5.4 Europe

### 5.4.1 Contexte

L'Europe est bien desservie, avec de nombreux cours d'eau permanents, dont beaucoup s'écoulent depuis le centre du continent. Elle possède en outre de nombreuses zones peu accidentées. Les principaux climats présents en Europe sont de type maritime, transitoire, continental, polaire et méditerranéen; les principaux types de végétation sont la toundra, la taïga à conifères (forêt boréale), la forêt mixte décidue, la steppe et la végétation méditerranéenne. Une partie relativement vaste de l'Europe est cultivée; environ un tiers de cette superficie est qualifié d'arable et les céréales représentent la culture prédominante. [GT II TRE 13.1.2.1]

La sensibilité de l'Europe au changement climatique suit un net gradient nord-sud, et bien des études indiquent que le sud de l'Europe sera plus fortement affecté (AEE, 2004). Le climat déjà chaud et semi-aride du sud de l'Europe devrait encore se réchauffer et s'assécher et menacer les cours d'eau, la production hydroélectrique et agricole et la récolte du bois. Dans le centre et l'est de l'Europe, les précipitations devraient diminuer en été et aggraver le stress hydrique. Les pays nordiques sont également vulnérables au changement climatique, même si les

premières étapes du réchauffement pourraient apporter certains avantages, par exemple, en termes d'augmentation du rendement des cultures et de croissance forestière. [GT II 12.2.3, RiD]

Les principales contraintes environnementales sont liées à la biodiversité, au paysage, à la dégradation des sols et des forêts, aux risques naturels, à la gestion de l'eau et aux environnements de loisirs. En Europe, la plupart des écosystèmes sont gérés ou semi-gérés; ils sont souvent fragmentés et soumis à des stress du fait de la pollution et d'autres incidences d'origine humaine. [GT II TRE 13.1.2.1]

### 5.4.2 Changements observés

Les précipitations hivernales moyennes ont augmenté pendant la période de 1946 à 1999 dans la plus grande partie de l'Europe Atlantique et septentrionale (Klein Tank *et al.*, 2002). Il convient d'interpréter ce phénomène en partie dans le contexte des changements de la NAO hivernale (Scaife *et al.*, 2005). Dans la région méditerranéenne, les tendances des précipitations annuelles pendant la période de 1950 à 2000 ont été négatives dans les régions orientales (Norrant et Douguédroit, 2006). On observe une augmentation des précipitations moyennes par jour de pluie dans la plupart des régions du continent, même dans certaines zones qui deviennent plus sèches (Frich *et al.*, 2002; Klein Tank *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006). Suite à ces changements et à d'autres changements dans les régimes hydrologiques et thermiques (voir Auer *et al.*, 2007), on a rapporté des incidences observées dans d'autres secteurs. Certaines d'entre elles sont indiquées dans le tableau 5.3. [GT I chapitre 3; GT II 12.2.1]

**Tableau 5.3:** Attribution des changements récents des écosystèmes naturels et gérés aux tendances récentes de température et de précipitations. [Extrait du GT II tableau 12.1]

Région	Changement observé	Référence
<b>Écosystèmes terrestres</b>		
<b>Montagnes fennoscandiennes et subarctique</b>	Disparition de certains types de zones humides (tourbières à paises) en Laponie; augmentation de la richesse et de la fréquence des espèces au niveau de la limite d'altitude de la vie végétale	Klanderud et Birks, 2003; Luoto <i>et al.</i> , 2004
<b>Agriculture</b>		
<b>Régions du nord de l'Europe</b>	Augmentation du stress des cultures pendant les étés plus chauds et plus secs; augmentation du risque de grêle pour les cultures	Viner <i>et al.</i> , 2006
<b>Cryosphère</b>		
<b>Russie</b>	Diminution de l'épaisseur et de l'étendue du pergélisol et dommages aux infrastructures	Frauenfeld <i>et al.</i> , 2004; Mazhitova <i>et al.</i> , 2004
<b>Alpes</b>	Diminution de la couverture neigeuse saisonnière (à faible altitude)	Latenser et Schneebeli, 2003; Martin et Etchevers, 2005
<b>Europe</b>	Diminution du volume et de la surface des glaciers (hormis certains glaciers en Norvège)	Hoelzle <i>et al.</i> , 2003

### 5.4.3 Changements prévus

#### 5.4.3.1 Eau

En général, quel que soit le scénario, les précipitations moyennes annuelles prévues augmentent dans le nord de l'Europe et diminuent plus au sud. Cependant, le changement des précipitations varie sensiblement d'une saison à l'autre et d'une région à l'autre en réponse aux changements de la circulation à grande échelle et au chargement en vapeur d'eau. Räisänen *et al.* (2004) prévoient que les précipitations vont sensiblement diminuer en été (jusqu'à 70 % dans certaines régions d'après le scénario A2 du SRES) dans le sud et le centre de l'Europe et, dans une plus faible mesure, dans le centre de la Scandinavie. Giorgi *et al.* (2004) ont identifié une augmentation de la circulation anticyclonique en été sur le nord-est de l'Atlantique, ce qui crée une dorsale sur l'Europe de l'Ouest et un thalweg en Europe de l'Est. Cette structure de blocage dévie les orages vers le nord, et de ce fait diminue sensiblement les précipitations (jusqu'à 30 à 45 %) sur une large partie du bassin méditerranéen, ainsi que sur l'ouest et le centre de l'Europe. [GT I tableau 11.1; GT II 12.3.1.1]

On prévoit que le changement climatique aura un éventail d'incidences sur les ressources en eau (tableau 5.3). Des augmentations du ruissellement annuel sont prévues en Europe atlantique et septentrionale (Werritty, 2001; Andréasson *et al.*, 2004), alors que des diminutions sont prévues, elles, en Europe centrale, méditerranéenne et orientale (Chang *et al.*, 2002; Etchevers *et al.*, 2002; Menzel et Bürger, 2002; Iglesias *et al.*, 2005). Le ruissellement annuel moyen devrait augmenter en Europe septentrionale (au nord de 47°N) d'environ 5 à 15 % d'ici aux années 2020, et de 9 à 22 % d'ici aux années 2070, d'après les scénarios A2 et B2 et les scénarios climatiques de deux modèles climatiques différents (Alcamo *et al.*, 2007). Entre-temps, en Europe méridionale (au sud de 47°N), le ruissellement devrait diminuer de 0 à 23 % d'ici aux années 2020 et de 6 à 36 % d'ici aux années 2070 (d'après le même ensemble d'hypothèses). L'alimentation des nappes souterraines diminuera *probablement* en Europe centrale et en Europe de l'Est (Eitzinger *et al.*, 2003), avec une diminution supérieure dans les vallées (Krüger *et al.*, 2002) et les basses terres, notamment dans les steppes hongroises (Somlyódy, 2002). [GT II 12.4.1, figure 12.1]

La saisonnalité des débits augmentera, avec des débits plus élevés pendant la saison de débit de pointe, et plus bas pendant la saison de basses eaux ou les périodes de sécheresse prolongée (Arnell, 2003, 2004). [GT II 3.4.1] Des études montrent une augmentation des débits d'hiver et une diminution des débits d'été pour le Rhin (Middelkoop et Kwadijk, 2001), les fleuves slovaques (Szolgay *et al.*, 2004), la Volga, et les fleuves du centre et de l'est de l'Europe (Oltchev *et al.*, 2002). À court terme, le recul des glaciers devrait augmenter le débit d'été des rivières dans les Alpes. Cependant, à long terme, ce recul

devrait entraîner une diminution du débit d'été (Hock *et al.*, 2005) jusqu'à 50 % (Zierl et Bugmann, 2005). Les basses eaux d'été devraient diminuer jusqu'à 50 % en Europe centrale (Eckhardt et Ulbrich, 2003), et jusqu'à 80 % dans certains fleuves du sud de l'Europe (Santos *et al.*, 2002). [GT II 12.4.1]

Les régions les plus exposées à un risque de sécheresse accru sont la Méditerranée et certaines régions du centre et de l'est de l'Europe, régions qui devraient assister à la plus forte augmentation dans la demande en eau d'irrigation (Döll, 2002; Donevska et Dodeva, 2004). Pour remédier à cette situation, il sera nécessaire d'élaborer une planification durable de l'utilisation des terres. Les besoins en irrigation vont *probablement* devenir importants dans des pays (notamment l'Irlande) où ils sont quasi inexistantes actuellement (Holden *et al.*, 2003). Le changement climatique et des prélèvements d'eau accrus vont *probablement* provoquer une augmentation de la superficie des terres subissant un stress hydrique prononcé (rapport prélèvement/disponibilité supérieur à 40 %) et une intensification de la concurrence autour des ressources en eau disponibles (Alcamo *et al.*, 2003b; Schröter *et al.*, 2005). [GT II 12.4.1]

*Risque de crues et de sécheresses dans l'avenir* (voir tableau 5.4). Le risque de crues devrait augmenter à l'échelle du continent. Les régions les plus susceptibles de voir augmenter la fréquence des crues sont l'Europe de l'Est, puis l'Europe du Nord, la côte atlantique et l'Europe centrale, tandis que les projections pour le sud et le sud-est de l'Europe indiquent une augmentation significative de la fréquence des sécheresses. Dans certaines régions, les risques de crues et de sécheresses devraient augmenter simultanément. [GT II tableau 12.4]

Christensen et Christensen (2003), Giorgi *et al.* (2004), Kjellström (2004) et Kundzewicz *et al.* (2006) ont tous évoqué une hausse sensible de l'intensité des épisodes de précipitations journalières. Ces conclusions concernent même les régions où les précipitations moyennes diminuent, telles que l'Europe centrale et la Méditerranée. L'incidence de ce changement sur la région méditerranéenne en été n'est pas claire en raison de la forte composante des pluies de convection et de sa grande variabilité spatiale (Llasat, 2001). [GT II 12.3.1.2]

Les effets combinés de la hausse des températures et de la diminution des précipitations moyennes d'été devraient augmenter la survenue de vagues de chaleur et de sécheresses. Schär *et al.* (2004) ont conclu que dans l'avenir, le climat d'été en Europe subira une augmentation prononcée de la variabilité d'une année à l'autre, et donc une plus grande incidence de vagues de chaleur et de sécheresses. La Méditerranée, voire une grande partie de l'est de l'Europe, pourrait subir une augmentation des périodes sèches d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (Polemio et Casarano, 2004). Selon

**Tableau 5.4:** Incidence du changement climatique sur la survenue de sécheresses et de crues en Europe pour plusieurs périodes et selon plusieurs scénarios fondés sur les modèles ECHAM4 et HadCM3. [GT II tableau 12.2]

Période	Disponibilité en eau et sécheresses	Crues
<b>Années 2020</b>	Augmentation de jusqu'à 15 % du ruissellement annuel dans le nord de l'Europe et diminution dans le sud de jusqu'à 23 % <sup>a</sup> Chute du débit d'été <sup>d</sup>	Augmentation du risque des crues d'hiver dans le nord de l'Europe et des crues soudaines dans toute l'Europe Risque de décalage des crues de fonte des neiges du printemps vers l'hiver <sup>e</sup>
<b>Années 2050</b>	Diminution de jusqu'à 20 à 30 % du ruissellement annuel dans le sud-est de l'Europe <sup>b</sup>	
<b>Années 2070</b>	Augmentation du ruissellement annuel dans le nord de jusqu'à 30 % et diminution de jusqu'à 36 % dans le sud <sup>a</sup> Diminution des basses eaux d'été de jusqu'à 80 % <sup>b, d</sup> Diminution du risque de sécheresse dans le nord de l'Europe et augmentation dans l'ouest et le sud. D'ici les années 2070, les sécheresses centennales actuelles devraient réapparaître, tous les 10 ans (ou moins) en moyenne dans certaines régions de l'Espagne et du Portugal, dans l'ouest de la France, le bassin de la Vistule en Pologne et l'ouest de la Turquie <sup>c</sup>	Les crues centennales actuelles devraient se produire plus souvent dans le nord et le nord-est de l'Europe (Suède, Finlande et nord de la Russie), en Irlande, dans le centre et l'est de l'Europe (Pologne, rivières des Alpes), sur la façade atlantique du sud de l'Europe (Espagne et Portugal), et moins souvent dans une grande partie du sud de l'Europe <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Alcamo *et al.*, 2007; <sup>b</sup> Arnell, 2004; <sup>c</sup> Lehner *et al.*, 2006; <sup>d</sup> Santos *et al.*, 2002.

Good *et al.* (2006), la période de sécheresse annuelle la plus longue augmenterait de jusqu'à 50 %, en particulier en France et dans le centre de l'Europe. Cependant, certaines preuves récentes (Lenderink *et al.*, 2007) laissent à penser que plusieurs de ces projections de sécheresses et de vagues de chaleur pourraient être légèrement surestimées en raison du paramètre de l'humidité du sol dans les modèles climatiques régionaux. Une diminution des précipitations d'été dans le sud de l'Europe, accompagnée d'une hausse des températures (qui accentue la demande d'évaporation), entraînerait inévitablement une diminution de l'humidité du sol en été (voir Douville *et al.*, 2002) et des sécheresses plus fréquentes et plus intenses. [GT II 3.4.3, 12.3.1]

Des études font état d'une diminution des crues rivales de pointe d'ici 2080 dans certaines parties du Royaume-Uni (Kay *et al.*, 2006b), mais l'incidence du changement climatique sur le régime des crues peut s'avérer positive ou négative, soulignant l'incertitude qui entoure encore ce phénomène (Reynard *et al.*, 2004). Palmer et Räisänen (2002) ont analysé les différences modélisées des précipitations d'hiver entre le passage de contrôle et un ensemble produit par augmentation transitoire du CO<sub>2</sub>, et les calculs étant effectués pour une période correspondant approximativement au doublement du CO<sub>2</sub>. Les résultats ont indiqué une augmentation considérable du risque d'un hiver très humide dans toute l'Europe. La probabilité de survenue de précipitations hivernales boréales totales supérieures à la normale de plus de deux écarts types a considérablement augmenté (elle est parfois 5 à 7 fois plus importante) pour de grandes régions de l'Europe, avec des conséquences *probables* sur le risque de crues en hiver. [GT II 3.4.3]

#### 5.4.3.2 Énergie

L'énergie hydroélectrique est une source d'énergie renouvelable capitale en Europe (19,8 % de l'électricité produite). D'ici aux années 2070, le potentiel d'énergie hydraulique devrait diminuer de 6 % dans toute l'Europe, avec une diminution de 20 à 50 % dans les régions méditerranéennes, une augmentation de 15 à 30 % dans le nord et l'est de l'Europe, et des conditions stables dans l'ouest et le centre de l'Europe (Lehner *et al.*, 2005). La production de biocarburant est grandement déterminée par la présence d'humidité et la durée de la période culturale (Olesen et Bindi, 2002). [GT II 12.4.8.1]

#### 5.4.3.3 Santé

Le changement climatique influencera aussi *probablement* la qualité et la quantité de l'eau en Europe, et donc le risque de contamination des approvisionnements en eau publics et privés (Miettinen *et al.*, 2001; Hunter, 2003; Elpiner, 2004; Kovats et Tirado, 2006). Tant les chutes de pluie que les sécheresses extrêmes peuvent augmenter la population microbienne totale présente dans les eaux douces, ce qui est susceptible d'influer sur la survenue de maladies et sur le suivi de la qualité de l'eau (Howe *et al.*, 2002; Kistemann *et al.*, 2002; Opopol *et al.* 2003; Knight *et al.*, 2004; Schijven et de Roda Husman, 2005). [GT II 12.4.11]

#### 5.4.3.4 Agriculture

L'augmentation prévue des phénomènes météorologiques extrêmes (notamment des périodes de températures élevées et de sécheresse) (Meehl et Tebaldi, 2004; Schär *et al.*, 2004; Beniston *et al.*, 2007) devrait accroître la variabilité du rendement (Jones *et al.*, 2003b) et réduire le rendement moyen (Trnka *et al.*, 2004). En particulier,

dans la région méditerranéenne de l'Europe, une augmentation de la fréquence des épisodes climatiques extrêmes au cours d'étapes spécifiques du développement des cultures (notamment un stress thermique pendant la floraison, des pluies pendant les semis) ainsi qu'une intensité accrue des chutes de pluie et des périodes sèches prolongées, entraîneront *probablement* une diminution du rendement des cultures d'été (par exemple, le tournesol). [GT II 12.4.7.1]

#### 5.4.3.5 Biodiversité

Les projections annoncent la disparition de nombreux systèmes, tels les régions de pergélisol de l'Arctique et des écosystèmes aquatiques éphémères dans la région méditerranéenne. [GT II 12.4.3]

La disparition du pergélisol dans l'Arctique (ACIA, 2004) entraînera *probablement* la réduction de certains types de zones humides dans la région actuelle de pergélisol (Ivanov et Maximov, 2003). Une conséquence du réchauffement pourrait être une augmentation du risque des fleurs d'eau et un développement prononcé des cyanobactéries toxiques dans les lacs (Moss *et al.*, 2003; Straile *et al.*, 2003; Briers *et al.*, 2004; Eisenreich, 2005). Des précipitations accrues et un gel réduit pourraient accélérer la perte d'éléments nutritifs des terres cultivées et engendrer une augmentation de la charge en nutriments (Bouraoui *et al.*, 2004; Kaste *et al.*, 2004; Eisenreich, 2005), ce qui entraînerait une eutrophisation intensive des lacs et des zones humides (Jeppesen *et al.*, 2003). Une augmentation des températures diminuera également les niveaux de saturation en oxygène dissous et augmentera le risque d'appauvrissement en oxygène (Sand-Jensen et Pedersen, 2005). [GT II 12.4.5]

Une hausse des températures entraînera *probablement* une augmentation de la diversité des espèces dans les écosystèmes d'eau douce du nord de l'Europe, et sa diminution dans des régions du sud-ouest de l'Europe (Gutiérrez Teira, 2003). [GT II 12.4.6]

#### 5.4.4 Adaptation et vulnérabilité

Le changement climatique posera deux problèmes majeurs liés à la gestion de l'eau en Europe: l'augmentation du stress hydrique dans le sud-est de l'Europe pour l'essentiel, et l'accroissement du risque de crues dans la plus grande partie du continent. Les mesures d'adaptation prises pour faire face à ces problèmes sont bien documentées (GIEC, 2001b). Les réservoirs et les digues resteront *probablement* les principales mesures structurelles pour la protection contre les crues dans les régions de haute et basse altitude, respectivement (Hooijer *et al.*, 2004). Cependant, d'autres solutions d'adaptation planifiée deviennent de plus en plus populaires, telles que l'extension des plaines inondables (Helms *et al.*, 2002), les réservoirs de maîtrise des crues

(Somlyódy, 2002), l'aménagement de zones destinées à recevoir les eaux de crue (Silander *et al.*, 2006) et les systèmes de prévision et d'alerte concernant les crues, en particulier les crues subites. Les réservoirs multifonctions peuvent représenter une mesure d'adaptation tant pour les crues que pour les sécheresses. [GT II 12.5.1]

Pour s'adapter à une augmentation du stress hydrique, les stratégies planifiées et les plus courantes restent des mesures côté offre, telles que les retenues sur les rivières pour former des réservoirs (Santos *et al.*, 2002; Iglesias *et al.*, 2005). Cependant, en Europe, la construction de nouveaux réservoirs est de plus en plus limitée par les réglementations environnementales (Barreira, 2004) et les coûts d'investissement élevés (Schröter *et al.*, 2005). D'autres approches concernant l'approvisionnement, telles que la réutilisation des eaux usées et le dessalement, sont plus largement prises en compte, mais leur popularité est modérée par les problèmes sanitaires liés à l'utilisation des eaux usées (Geres, 2004) et par les coûts énergétiques élevés du dessalement (Iglesias *et al.*, 2005). Certaines stratégies planifiées concernant la demande sont également réalisables (AEMA, 2002), telles la conservation des eaux domestiques, industrielles et agricoles, la réduction des fuites des réseaux municipaux et d'irrigation (Donevska et Dodeva, 2004; Geres, 2004) et la tarification de l'eau (Iglesias *et al.*, 2005). La demande en eau d'irrigation peut être réduite par l'introduction de cultures qui sont mieux adaptées à un climat changeant. Un exemple d'approche européenne unique pour l'adaptation au stress hydrique consiste à prendre en compte, dans les plans de gestion intégrée des ressources en eau, des stratégies d'adaptation au changement climatique au niveau régional et au niveau du bassin versant (Kabat *et al.*, 2002; Cosgrove *et al.*, 2004; Kashyap, 2004), alors que des stratégies nationales sont en cours de développement pour s'adapter aux structures de gouvernance existantes (Donevska et Dodeva, 2004). [GT II 12.5.1]

Des procédures d'adaptation et des pratiques de gestion des risques pour le domaine hydrologique sont développées dans certains pays et régions (par exemple aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et en Allemagne) et elles tiennent compte de l'incertitude des changements hydrologiques prévus. [GT II 3.RE, 3.2, 3.6]

## 5.5 Amérique latine

### 5.5.1 Contexte

La croissance démographique se poursuit, avec ses conséquences sur la demande alimentaire. Étant donné que la plupart des pays d'Amérique latine sont dépendants de leur productivité agricole, la variation régionale des

rendements des cultures est un problème capital. Du fait de sa configuration géographique, l'Amérique latine dispose de climats très variés. Elle comporte également de vastes régions arides et semi-arides. Le spectre climatique s'étend du climat froid et glacé des hautes altitudes jusqu'aux climats tempéré et tropical. Au cours des dernières décennies, les glaciers ont généralement reculé et certains très petits glaciers ont déjà disparu.

Les fleuves Amazone, Paraná-Plata et Orénoque déversent plus de 30 % des eaux douces renouvelables du monde dans l'océan Atlantique. Cependant, ces ressources en eau sont mal réparties, et des zones étendues ont une disponibilité en eau très limitée (Mata *et al.*, 2001). Lorsque les précipitations

diminuent ou que les températures augmentent, des contraintes s'appliquent sur la disponibilité et sur la qualité de l'eau. Les sécheresses qui sont statistiquement liées aux épisodes ENSO limitent sévèrement les ressources en eau de vastes régions de l'Amérique latine.

## 5.5.2 Changements observés

### 5.5.2.1 Eau

Au cours des trois dernières décennies, l'Amérique latine a subi les incidences liées au climat, dont certaines sont associées aux épisodes ENSO.

- Un accroissement des extrêmes climatiques tels que les crues, les sécheresses et les glissements de terrain

**Tableau 5.5:** *Quelques tendances récentes des variables hydrologiques. [GT II tableau 13.1, tableau 13.2, tableau 13.3]*

Tendances actuelles pour les précipitations (GT II tableau 3.2)	
Précipitations (changement en % sauf indication contraire)	Période
Amazonie – nord et sud (Marengo, 2004)	1949 à 1999
Amazonie bolivienne (Ronchail <i>et al.</i> , 2005)	Depuis 1970
Argentine – centre et nord-est (Penalba et Vargas, 2004)	1900 à 2000
Uruguay (Bidegain <i>et al.</i> , 2005)	1961 à 2002
Chili-centre (Camilloni, 2005)	50 dernières années
Colombie (Pabón, 2003)	1961 à 1990
Extrêmes hydrologiques sélectionnés et leurs incidences, 2004 à 2006 (GT II tableau 13.1)	
Pluies intenses sept. 2005	Colombie: 70 morts, 86 blessés, 6 portés disparus et 140 000 victimes de crues (NOAA, 2005).
Pluies intenses févr. 2005	Venezuela: pluies intenses (principalement dans la région côtière centrale et dans les Andes), crues sévères et glissements de terrain importants. Pertes de 52 millions de dollars des États-Unis; 63 morts et 175 000 blessés (UCV, 2005; DNPC, 2005/2006).
Sécheresses 2004 à 2006	Argentine – Chaco: pertes estimées à 360 millions de dollars des États-Unis; 120 000 têtes de bétail disparues, 10 000 personnes évacuées en 2004 (SRA, 2005). Également en Bolivie et au Paraguay: 2004/2005. Brésil – Amazonie: une forte sécheresse a touché le centre et le sud-ouest de l'Amazonie, probablement liée à des températures chaudes de la mer en surface dans l'Atlantique Nord tropical ( <a href="http://www.cptec.inpe.br/">http://www.cptec.inpe.br/</a> ). Brésil – Rio Grande do Sul: réduction de 65 % et 56 % de la production de soja et de maïs ( <a href="http://www.ibge.gov.br/home/">http://www.ibge.gov.br/home/</a> ; en anglais: <a href="http://www.ibge.gov.br/english/">http://www.ibge.gov.br/english/</a> ).
Tendances au recul des glaciers (GT II tableau 13.3)	
Glaciers/Période	Changements/Incidences
Pérou <sup>a, b</sup> 35 dernières années	Réduction de 22 % de la superficie totale des glaciers (voir figure 5.9); réduction de 12 % des eaux douces dans la zone côtière (où résident 60 % de la population). Perte d'eau estimée à presque 7 000 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> .
Pérou <sup>c</sup> 30 dernières années	Réduction jusqu'à 80 % de la superficie des très petits glaciers; perte de 188 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> des réserves d'eau au cours des 50 dernières années.
Colombie <sup>d</sup> 1990 à 2000	Réduction de 82 % des glaciers; avec les tendances climatiques actuelles, les glaciers de la Colombie devraient entièrement disparaître au cours des 100 prochaines années.
Équateur <sup>e</sup> 1956 à 1998	Recul progressif de l'étendue des glaciers; réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et de l'approvisionnement en eau propre pour la ville de Quito.
Bolivie <sup>f</sup> depuis le milieu des années 1990	Le recul prévu des glaciers en Bolivie laisse entrevoir des conséquences négatives pour l'alimentation en eau et la génération d'énergie hydroélectrique pour la ville de La Paz. Voir également encadré 5.5.

<sup>a</sup> Vásquez, 2004; <sup>b</sup> Mark et Seltzer, 2003; <sup>c</sup> NC-Pérou, 2001; <sup>d</sup> NC-Colombie, 2001; <sup>e</sup> NC-Équateur, 2000; <sup>f</sup> Francou *et al.*, 2003.

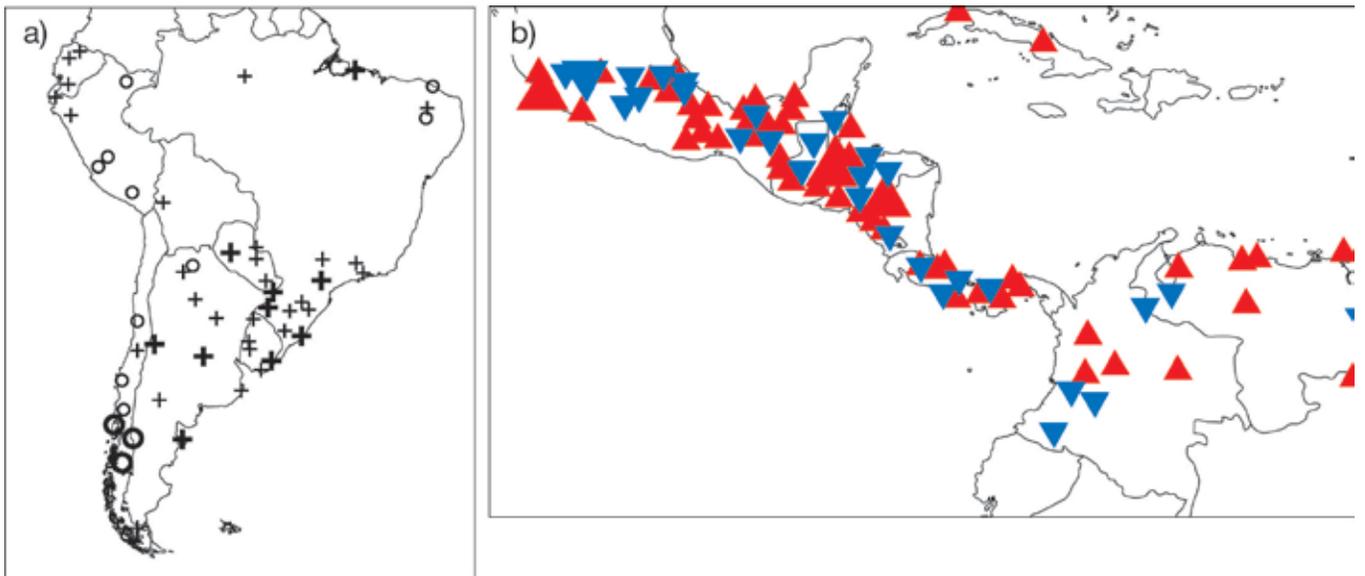
(notamment les pluies diluviennes au Venezuela en 1999 et 2005), les inondations des pampas argentines (2000 et 2002), la sécheresse amazonienne (2005), les tempêtes de grêle destructrices en Bolivie (2002) et à Buenos Aires (2006), le cyclone *Catarina* dans le sud de l'Atlantique (2004) et la saison d'ouragans records de 2005 dans la région des Caraïbes. Le nombre des catastrophes liées au climat a été multiplié par 2,4 entre les périodes 1970-1999 et 2000-2005, en continuité de la tendance observée pendant les années 1990. Seulement 19 % des épisodes observés entre 2000 et 2005 ont été quantifiés du point de vue économique; ils ont représenté des pertes de presque 20 milliards de dollars des États-Unis (Nagy *et al.*, 2006). [GT II 13.2.2]

- Des contraintes pesant sur la disponibilité en eau: les sécheresses liées au phénomène *La Niña* ont engendré des restrictions sévères sur l'approvisionnement en eau et sur les demandes d'irrigation dans le centre-ouest de l'Argentine et au centre du Chili. Les sécheresses liées au phénomène *El Niño* ont diminué le débit du fleuve Cauca en Colombie. [GT II 13.2.2]
- Une augmentation des précipitations a été observée dans le sud du Brésil, au Paraguay, en Uruguay, dans le nord-est de l'Argentine (Pampa), ainsi que dans certaines régions de Bolivie, le nord-ouest du Pérou, en Équateur et dans le nord-ouest du Mexique. La hausse des précipitations a entraîné une augmentation de 10 % de la fréquence des crues de l'Amazone à Obidos,

une augmentation de 50 % de l'écoulement fluvial en Uruguay, au Paraná et au Paraguay ainsi qu'une augmentation du nombre de crues dans le bassin du Mamoré en Amazonie bolivienne. Une augmentation des épisodes de pluie intense et du nombre de jours secs consécutifs a également été observée dans toute la région. En revanche, on a observé une tendance à la diminution des précipitations au Chili, dans le sud-ouest de l'Argentine, le nord-est du Brésil, le sud du Pérou et l'ouest de l'Amérique centrale (notamment au Nicaragua). [GT II 13.2.4.1]

- Une élévation du niveau de la mer de 2 à 3 mm/an au cours des 10 à 20 dernières années dans le sud-est de l'Amérique du Sud. [GT II 13.2.4.1]
- La superficie des glaciers qui a diminué dans les Andes tropicales de Bolivie, du Pérou, de l'Équateur et de la Colombie dans une proportion comparable à celle des autres glaciers du monde depuis la fin du petit âge glaciaire (voir figure 5.9). Ce sont les plus petits glaciers qui sont le plus touchés (voir encadré 5.5). Les raisons de ces changements ne sont pas les mêmes que pour ceux observés aux latitudes moyennes et élevées: elles sont liées à des combinaisons complexes et variables dans l'espace de températures élevées et de modifications dans la teneur en humidité de l'atmosphère. [GT I 4.5.3]

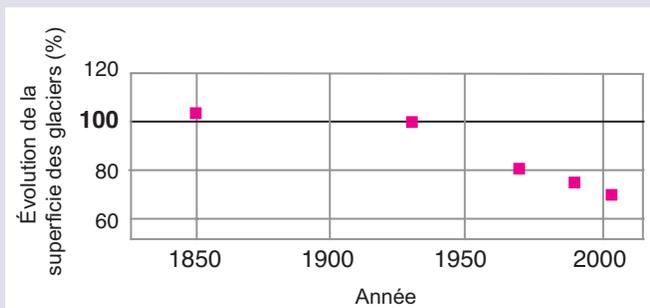
D'autres informations sur les tendances observées des variables hydrologiques sont présentées dans le tableau 5.5 et la figure 5.8.



**Figure 5.8:** Tendances relatives aux précipitations annuelles a) en Amérique du Sud (1960 à 2000). Une augmentation est représentée par un signe +, une diminution par un cercle. Les valeurs en gras indiquent une signification à  $P \leq 0,05$  (reproduit de Haylock *et al.* (2006) avec l'aimable autorisation de l'American Meteorological Society); b) en Amérique centrale et au nord de l'Amérique du sud (1961-2003). Les grands triangles rouges indiquent des tendances positives significatives, les petits triangles rouges indiquent des tendances positives non significatives, les grands triangles bleus indiquent des tendances négatives significatives et les petits triangles bleus des tendances négatives non significatives (reproduit d'Aguilar *et al.* (2005) avec l'aimable autorisation de l'American Geophysical Union). [GT II figure 13.1]

### Encadré 5.5: Changements relatifs aux glaciers sud-américains [GT II encadré 1.1]

Un recul général des glaciers dans les Andes tropicales a été observé et, comme pour d'autres chaînes montagneuses, les glaciers les plus petits sont ceux qui sont les plus affectés [GT I 4.5.3], bon nombre d'entre eux ayant déjà disparu au cours du siècle dernier. En ce qui concerne les chaînes montagneuses en grande partie couvertes de glaciers, telles que la *Cordillère blanche* au Pérou et la *Cordillère royale* en Bolivie, la superficie totale des glaciers a diminué d'environ un tiers par rapport à la superficie du petit âge glaciaire (figure 5.9).



**Figure 5.9:** Étendue (en %) de la superficie totale des glaciers tropicaux de la Cordillère blanche, au Pérou, par rapport à son étendue aux alentours de 1925 (= 100) (Georges, 2004). En 1990, la superficie du glacier de la Cordillère blanche était de 620 km<sup>2</sup>. [Extrait du GT I figure 4.16]

Le glacier Chacaltaya en Bolivie (16°S) est un exemple typique de petit glacier en cours de désintégration et, sans doute, en voie de disparition. En 1940, sa superficie était de 0,22 km<sup>2</sup>, et elle est actuellement (en 2005) réduite à moins de 0,01 km<sup>2</sup> (figure 5.10) (Ramírez *et al.*, 2001; Francou *et al.*, 2003; Berger *et al.*, 2005). Au cours de la période allant de 1992 à 2005, le glacier a perdu 90 % de sa superficie et 97 % de son volume de glace (Berger *et al.*, 2005). Une extrapolation linéaire de ces valeurs observées indique qu'il pourrait disparaître totalement avant 2010 (Coudrain *et al.*, 2005). Malgré le fait que, sous les tropiques, le bilan de masse du glacier soit sensible aux changements de précipitations et d'humidité [GT I 4.5.3], le recul du Chacaltaya suit l'ascension de l'isotherme 0 °C d'environ 50 m/décennie dans les Andes tropicales depuis les années 1980 (Vuille *et al.*, 2003).

Avec une altitude moyenne de 5 260 m au-dessus du niveau de la mer, le glacier accueillait la station de ski la plus haute du monde jusqu'à ces dernières années. Le recul continu du glacier pendant les années 1990 l'a conduit à sa quasi-disparition, de sorte que la Bolivie a perdu son unique station de ski (figure 5.10).



**Figure 5.10:** Superficie du glacier Chacaltaya en Bolivie de 1940 à 2005. En 2005, le glacier s'était déjà divisé en trois petites parties distinctes. L'emplacement du refuge de ski, qui n'existait pas en 1940, est indiqué par une croix rouge. La longueur de la remontée mécanique était d'environ 800 m en 1940 et d'environ 600 m en 1996 (indiquée par une ligne continue pour 1940 et par des pointillés sur les autres photographies). Elle était généralement installée pendant la saison des précipitations. Après 2004, il n'était plus possible de skier. Crédit photographique: Francou et Vincent (2006) et Jordan (1991). [GT II figure 1.1]

### 5.5.2.2 Énergie

L'énergie hydroélectrique est la principale source d'énergie électrique dans la plupart des pays d'Amérique latine. Elle est vulnérable aux anomalies de pluviométrie persistantes et à grande échelle dues aux phénomènes *El Niño* et *La Niña*, comme on a pu l'observer en Argentine, en Colombie, au Brésil, au Chili, au Pérou, en Uruguay et au Venezuela. Une demande accrue en énergie combinée aux sécheresses a entraîné un quasi-effondrement du secteur de l'hydroélectricité dans la plus grande partie du Brésil en 2001 et a participé à la réduction du PIB (Kane, 2002). Le recul des glaciers affecte également la production d'énergie hydroélectrique, comme en sont témoins les villes de La Paz et de Lima. [GT II 13.2.2, 13.2.4]

### 5.5.2.3 Santé

Des liens existent en Amérique latine entre les phénomènes climatiques extrêmes et la santé. Les sécheresses favorisent les épidémies en Colombie et en Guyane, tandis que les crues engendrent des épidémies dans la région côtière septentrionale sèche du Pérou (Gagnon *et al.*, 2002). Les variations annuelles de la dengue et de la dengue hémorragique au Honduras et au Nicaragua semblent liées aux fluctuations de densité du vecteur associées au climat (température, humidité, rayonnement solaire et pluviométrie) (Patz *et al.*, 2005). Les inondations ont entraîné des épidémies de leptospirose au Brésil, en particulier dans les régions à forte densité démographique, dépourvues d'un drainage adéquat (Ko *et al.*, 1999; Kupek *et al.*, 2000). La distribution de la schistosomiase est probablement liée aux facteurs climatiques. En ce qui concerne les maladies transmises par les rongeurs, il semblerait que certaines augmentations d'occurrence soient observées pendant ou après des chutes de pluie intenses et des inondations, du fait d'une altération du contact entre l'homme, l'agent pathogène et le rongeur. Dans certaines régions côtières du golfe du Mexique, une augmentation de la température de la mer en surface et des précipitations a été liée à une augmentation des cycles de transmission de la dengue (Hurtado-Díaz *et al.*, 2006). [GT II 13.2.2, 8.2.8.3]

### 5.5.2.4 Agriculture

En raison des chutes de pluie abondantes et de l'humidité provoquées par le phénomène *El Niño*, des maladies cryptogamiques ont été observées sur le maïs, les pommes de terre, le blé et les haricots au Pérou. Quelques incidences positives ont été signalées pour la région de la Pampa en Argentine, où l'augmentation des précipitations a entraîné une augmentation du rendement des récoltes de près de 38 % pour le soja, 18 % pour le maïs, 13 % pour le blé et 12 % pour le tournesol. La productivité des pâturages a également augmenté de 7 % en Argentine et en Uruguay. [GT II 13.2.2, 13.2.4]

### 5.5.2.5 Biodiversité

Peu d'études ont évalué les effets du changement climatique sur la biodiversité; elles font toutes état de la difficulté de

différencier les effets causés par le changement climatique de ceux provenant d'autres facteurs. Les forêts tropicales en Amérique latine, et en particulier celles de l'Amazonie, sont de plus en plus exposées aux incendies en raison de l'augmentation des sécheresses liées au phénomène *El Niño* et au changement d'affectation des terres (déboisement, exploitation forestière sélective et morcellement forestier). [GT II 13.2.2]

En ce qui concerne la biodiversité, les populations de crapauds et de grenouilles des forêts de nuages ont été affectées après plusieurs années de faible pluviométrie. En Amérique centrale et en Amérique du Sud, on a trouvé des liens entre les températures accrues et l'extinction des grenouilles due à une maladie cutanée (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Une étude évaluant les données de 1977 à 2001 a montré que la couverture corallienne dans les récifs des Caraïbes a diminué de 17 % en moyenne les années suivant un ouragan, sans indice de récupération dans les huit années au moins consécutives à une occurrence. [GT II 13.2.2]

## 5.5.3 Changements prévus

### 5.5.3.1 Eau et climat

Selon les différents modèles climatiques et avec un *degré de confiance moyen*, le réchauffement moyen prévu pour l'Amérique latine à l'horizon 2100 serait de 1 à 4 °C pour le scénario d'émissions B2, et de 2 à 6 °C pour le scénario A2. La plupart des projections des MCG indiquent des anomalies des précipitations (positives ou négatives) supérieures pour la région tropicale, et inférieures pour la région extratropicale de l'Amérique du Sud. De plus, les projections annoncent une augmentation de la fréquence des saisons très sèches en Amérique centrale, quelle que soit la saison. Au-delà de ces résultats, les modèles s'accordent peu sur les changements de la fréquence des saisons extrêmes en ce qui concerne les précipitations. En ce qui concerne les extrêmes de précipitations journalières, une étude fondée sur deux MCGAO envisage une augmentation du nombre de jours humides pour les régions du sud-est de l'Amérique du Sud et du centre de l'Amazonie, et une diminution des extrêmes de précipitations journalières pour la région côtière du nord-est du Brésil. [GT I tableau 11.1, 11.6; GT II 13.RE, 13.3.1]

Le nombre de personnes vivant dans des bassins versants déjà soumis à un stress hydrique (c'est-à-dire dont l'approvisionnement est inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/habitant/an) en l'absence de changement climatique a été estimé à 22,2 millions en 1995. D'après les scénarios SRES, ce nombre devrait augmenter entre 12 et 81 millions d'ici aux années 2020, et entre 79 et 178 millions d'ici aux années 2050 (Arnell, 2004). Ces estimations ne tiennent pas compte du nombre de personnes échappant au stress hydrique, indiqué dans le tableau 5.6. Les vulnérabilités actuelles observées dans de nombreuses régions de pays

**Tableau 5.6:** Augmentation du nombre d'habitants en millions dans les bassins versants soumis à un stress hydrique en Amérique latine, d'après le MCG HadCM3 (Arnell, 2004). [GT II tableau 13.6]

Scénario et MCG	1995	2025		2055	
		Sans changement climatique	Avec changement climatique	Sans changement climatique	Avec changement climatique
<b>A1</b>	22,2	35,7	21,0	54,0	60,0
<b>A2</b>	22,2	55,9	37,0-66,0	149,3	60,0-150,0
<b>B1</b>	22,2	35,7	22,0	54,0	74,0
<b>B2</b>	22,2	47,3	7,0-77,0	59,4	62,0

d'Amérique latine augmenteront du fait de l'effet négatif conjugué d'une augmentation de la demande d'approvisionnement en eau et d'irrigation consécutive à un taux de croissance démographique accru, et des conditions plus sèches attendues dans un grand nombre de bassins. Par conséquent, en tenant compte du nombre de personnes soumises à une diminution du stress hydrique, on observe tout de même une augmentation nette du nombre de personnes soumises à un stress hydrique. [GT II 13.4.3]

### 5.5.3.2 Énergie

D'après les prévisions, le recul des glaciers devrait se poursuivre et influencer la production d'énergie hydroélectrique dans les pays tels que la Colombie et le Pérou (UNMSM, 2004). Certains petits glaciers tropicaux ont d'ores et déjà disparu; d'autres disparaîtront *probablement* au cours des prochaines décennies, avec des effets potentiels sur la production d'énergie hydroélectrique (Ramírez *et al.*, 2001). [GT I 4.5.3; GT II 13.2.4]

### 5.5.3.3 Santé

Environ 262 millions de personnes, soit 31 % de la population d'Amérique latine, vivent dans des zones à risque de paludisme (c'est-à-dire dans les régions tropicales et subtropicales) (PAHO, 2003). D'après les scénarios d'émissions du SRES et les scénarios socioéconomiques, certaines projections indiquent une diminution de la durée de la période de transmission du paludisme dans un grand nombre de régions où sont prévues des diminutions des précipitations, comme l'Amazonie et l'Amérique centrale. Les résultats indiquent un nombre supplémentaire de personnes à risque dans les zones situées autour de la limite méridionale de la distribution de la maladie en Amérique du Sud (van Lieshout *et al.*, 2004). Le Nicaragua et la Bolivie ont prévu une augmentation possible de l'incidence du paludisme en 2010, avec des variations saisonnières (Aparicio, 2000; NC-Nicaragua, 2001). L'augmentation du paludisme et de la population à risque pourrait influencer les coûts des services de santé, y compris celui du traitement et des prestations de la sécurité sociale. [GT II 13.4.5]

D'autres modèles prévoient une augmentation sensible du nombre de personnes confrontées au risque de la dengue en raison des changements des limites géographiques

de transmission au Mexique, au Brésil, au Pérou et en Équateur (Hales *et al.*, 2002). Certains modèles prévoient des changements de la distribution spatiale (dispersion) du vecteur de la leishmaniose cutanée au Pérou, au Brésil, au Paraguay, en Uruguay, en Argentine et en Bolivie (Aparicio, 2000; Peterson et Shaw, 2003), ainsi que de la distribution mensuelle du vecteur de la dengue (Peterson *et al.*, 2005). [GT II 13.4.5]

### 5.5.3.4 Agriculture

Plusieurs études fondées sur des modèles de simulation de cultures, tenant compte d'un changement climatique ont été réalisées pour des cultures commerciales en Amérique latine. Le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim d'après le scénario d'émissions A2 du SRES devrait augmenter d'un million en 2020, rester stable jusqu'en 2050, puis diminuer de quatre millions en 2080. [GT II tableau 13.5, 13.4.2]

### 5.5.3.5 Biodiversité

En raison d'un ensemble complexe de modifications, dont celles des précipitations et du ruissellement, on prévoit le remplacement de la forêt tropicale par de la savane dans l'est de l'Amazonie et dans les forêts tropicales du centre et du sud du Mexique, ainsi que le remplacement de la végétation semi-aride par de la végétation aride dans des régions du nord-est du Brésil et dans la plus grande partie du centre et du nord du Mexique, suite aux effets synergiques des changements d'affectation des terres et des changements climatiques. À l'horizon 2050, 50 % des terres agricoles seront *très probablement* soumises à la désertification et à la salinisation dans certaines régions. [GT II 13.RE, 13.4.1, 13.4.2]

## 5.5.4 Adaptation et vulnérabilité

### 5.5.4.1 Adaptation passée et actuelle

L'absence de stratégies d'adaptation adéquates pour faire face aux dangers et aux risques de crues et de sécheresses dans les pays d'Amérique latine est due à un faible produit national brut (PNB), à l'augmentation de la population qui s'installe dans des zones vulnérables (sujettes aux inondations, aux glissements de terrain ou aux sécheresses) et à l'absence de cadres politiques, institutionnels et

### Encadré 5.6: Capacité d'adaptation des communautés précolombiennes des hauts plateaux d'Amérique du Sud [GT II encadré 13.2]

La subsistance des civilisations autochtones des Amériques dépendait des ressources cultivées dans les conditions climatiques régnant autour de leurs établissements. Dans les hauts plateaux de l'Amérique latine actuelle, l'un des facteurs limitants les plus critiques qui agissent sur le développement reste l'irrégularité de la distribution de l'eau. La situation reflète les particularités des processus et des extrêmes atmosphériques, le ruissellement rapide vers les vallées profondes et des conditions du sol évolutives. La fonte des glaciers était (et est encore) une source d'eau fiable pendant les saisons sèches. Cependant, les rivières s'écoulaient dans les vallées dans des lits délimités et n'approvisionnent que certains lieux. Étant donné que la saisonnalité des chutes de pluie est importante, le ruissellement des glaciers est la principale source d'eau fiable pendant la saison sèche. En conséquence, les communautés précolombiennes ont développé différentes adaptations pour satisfaire leurs besoins. De nos jours, le problème de l'équilibre entre la disponibilité de l'eau et la demande en eau est quasiment le même, bien que l'échelle puisse différer.

Dans ce contexte, les civilisations précolombiennes, du Mexique actuel jusqu'au nord du Chili et de l'Argentine, ont développé les capacités nécessaires pour s'adapter aux conditions environnementales locales. Ces capacités impliquaient une aptitude à résoudre des problèmes hydrauliques et à prévoir les variations climatiques et les périodes de chutes de pluie saisonnières. Du côté de l'ingénierie, leurs développements ont inclus l'utilisation de l'eau de pluie captée pour la récupération, la filtration et le stockage, ainsi que la construction de canaux d'irrigation superficiels et souterrains, notamment des dispositifs pour mesurer la quantité d'eau stockée (figure 5.11) (Treacy, 1994; Wright et Valencia Zegarra, 2000; Caran et Nelly, 2006). Les civilisations précolombiennes ont également réussi à relier des bassins fluviaux de bassins versants du Pacifique et de l'Atlantique, dans la vallée de Cumbe et à Cajamarca (Burger, 1992).



**Figure 5.11:** Système de récupération de l'eau destinée aux aqueducs souterrains et à l'alimentation des nappes phréatiques à Nazca (côte sud du Pérou)

D'autres capacités ont été développées pour prévoir les variations climatiques et les périodes de chutes de pluie saisonnières, pour organiser les calendriers des semis et planifier les rendements (Orlove *et al.*, 2000). Ces efforts ont permis aux communautés composées de quelque 10 millions de personnes à l'apogée de la civilisation inca de subsister dans la zone qui constitue actuellement le Pérou et l'Équateur.

Leurs capacités techniques ont également permis de rectifier des cours d'eau, comme dans le cas de l'Urubamba, et de construire des ponts suspendus ou sur piliers coulés dans le lit de la rivière. Ils utilisaient également l'eau courante à des fins de loisirs et religieuses, comme on peut le voir de nos jours dans le Baño del Inca (les bains des Incas) alimenté par des sources géothermiques, et dans les ruines du jardin musical de Tampumacchay, aux alentours de Cuzco (Cortazar, 1968). Les prêtres de la culture de Chavín utilisaient l'eau courante qui circulait dans des tubes forés dans la structure des temples pour produire un son semblable au rugissement d'un jaguar, ce dernier étant l'une de leurs divinités (Burger, 1992). L'eau servait également à découper des blocs de pierre de construction. Comme on peut le voir à Ollantaytambo, sur le chemin qui mène au Machu Picchu, on donnait à ces pierres des formes géométriques régulières en faisant couler de l'eau dans des interstices judicieusement placés et en la laissant geler au froid de la nuit de l'Altiplano. Les anciens ont également acquis la faculté de prévoir les variations climatiques, comme celles du phénomène *El Niño* (Canziani et Mata, 2004), ce qui leur permettait d'organiser au mieux leur production d'aliments. Ils ont donc fait de grands efforts d'innovation pour s'adapter aux conditions locales difficiles et pour définir des modes de développement durables.

De nos jours, étant donné les caprices du temps et du climat, aggravés par l'augmentation de l'effet de serre et par le recul des glaciers (Carey, 2005; Bradley *et al.*, 2006), il serait extrêmement utile de s'inspirer de telles mesures d'adaptation et de les remettre au goût du jour. L'éducation et la formation des membres des communautés actuelles aux connaissances et au savoir-faire technique de leurs ancêtres permettraient de faire un pas en avant. Les procédures de la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes (CEPALC) relatives à la gestion du développement durable (Dourojeanni, 2000) font référence aux stratégies d'irrigation précolombiennes lorsqu'elles examinent la nécessité de gérer les conditions climatiques extrêmes dans les hauts plateaux.

technologiques adéquats (Solanes et Jouravlev, 2006). Cependant, certaines communautés et villes se sont organisées pour prendre une part active dans la prévention des catastrophes (Fay *et al.*, 2003b). Un grand nombre de personnes pauvres ont été invitées à partir des zones sujettes aux inondations pour s'installer dans des zones plus sûres. À l'aide de prêts de l'IRDB et de l'IDFB, ils ont construit de nouvelles habitations, par exemple les réinstallations dans le bassin du fleuve Paraná en Argentine, après la crue de 1992 (IRDB, 2000). Dans certains cas, un changement des conditions environnementales touchant l'économie typique des Pampas a entraîné l'introduction de nouvelles activités de production via l'aquiculture, exploitant les espèces de poissons naturelles régionales telles que le pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (La Nación, 2002). Un autre exemple, lié dans ce cas à la capacité d'adaptation des personnes au stress hydrique, est celui des programmes d'«auto-organisation» destinés à améliorer les réseaux d'approvisionnement en eau dans les communautés très pauvres. Le «*Business Partners for Development Water and Sanitation Clusters*», réseau de partenaires œuvrant pour le développement de l'accès à l'eau et l'assainissement, travaille sur quatre programmes spécifiques en Amérique latine: Cartagena (Colombie), La Paz et El Alto (Bolivie) et certains districts défavorisés du Gran Buenos Aires (Argentine) (The Water Page, 2001; Water 21, 2002). Les systèmes de récupération et de stockage des eaux de pluie sont des structures importantes du développement durable dans les régions tropicales semi-arides. Il existe, en particulier, un projet conjoint appelé projet P1MC mis au point au Brésil par le réseau d'organisations non gouvernementales Articulação no Semi-Árido (ASA). Ce projet a pour objectif de faire installer un million de citernes de manière décentralisée par la société civile. Le plan consiste à approvisionner en eau potable un million de foyers ruraux dans les régions de sécheresse persistante du Brésil tropical semi-aride. Au cours de la première étape, 12 400 citernes ont été fabriquées par l'ASA et par le Ministère de l'environnement du Brésil, et 21 000 autres citernes étaient prévues pour la fin de l'année 2004 (Gnadlinger, 2003). En Argentine, des programmes nationaux pour garantir la sûreté de l'eau aux communautés locales dans les régions arides de la province de l'Esteros ont permis l'installation de dix bassins de récupération et de stockage d'eau de pluie entre 2000 et 2002 (Basán Nickisch, 2002). [GT II 13.2.5]

#### 5.5.4.2 Adaptation: pratiques, options et contraintes

En Amérique latine, les politiques de gestion de l'eau doivent être pertinentes et incluses comme points capitaux pour les critères d'adaptation. Cela permettra d'augmenter les capacités de la région à améliorer sa gestion de la disponibilité en eau. Dans environ 60 % de l'Amérique latine, l'adaptation à des conditions plus sèches nécessitera de gros investissements dans les réseaux d'approvisionnement en eau. La gestion de dérivations transbassin a été la solution adoptée dans un grand nombre de régions (notamment le bassin du Yacambu au Venezuela, l'Alto Piura et le bassin du

Mantaro au Pérou). Les pratiques de conservation de l'eau, le recyclage de l'eau et l'optimisation de la consommation d'eau ont été recommandés pendant les périodes de stress hydrique (COHIFE, 2003) (voir encadré 5.6). [GT II 13.5]

Les problèmes liés à l'éducation et aux services de santé publique sont des barrières fondamentales à l'adaptation, par exemple, dans le cas des phénomènes extrêmes (les crues et les sécheresses) principalement dans les zones rurales pauvres (Villagrán de León *et al.*, 2003). [GT II 13.5]

## 5.6 Amérique du Nord

### 5.6.1 Contexte et changements observés

En Amérique du Nord, le changement climatique va restreindre les ressources en eau déjà surexploitées et donc augmenter la concurrence entre les utilisateurs – agriculture, industrie, municipalités et secteur de l'environnement (*degré de confiance très élevé*). Certaines des incidences sociétales et écologiques du changement climatique les plus importantes prévues dans cette région sont causées par les changements dans les ressources en eau superficielles et souterraines. Le tableau 5.7 décrit les changements observés en Amérique du Nord au cours du siècle dernier, qui illustrent le large éventail d'effets du réchauffement climatique sur les ressources en eau. [GT II 14.RE]

Étant donné que la vitesse du réchauffement pourrait augmenter dans les décennies à venir, il est possible de prévoir des changements de répartition dans le temps, de volume, de qualité et de distribution spatiale de l'eau douce disponible pour les utilisateurs à des fins domestiques, agricoles et industrielles dans la plupart des régions en Amérique du nord. Alors que certains des changements des ressources en eau indiqués précédemment sont vrais pour une grande partie de l'Amérique du Nord, les tendances du XX<sup>e</sup> siècle permettent d'envisager une grande variabilité régionale pour les incidences du changement climatique sur le ruissellement, l'écoulement fluvial et l'alimentation des nappes souterraines. Des variations des richesses et de nature géographique contribuent aussi à l'inégalité de la distribution des incidences *probables*, des vulnérabilités et des capacités d'adaptation au Canada et aux États-Unis. [GT II 14.RE, 14.1]

### 5.6.2 Changements prévus et conséquences

#### 5.6.2.1 Ressources en eau douce

Le ruissellement annuel futur simulé dans les bassins hydrographiques nord-américains varie selon la région, le modèle de circulation générale (MCG) et le scénario d'émissions. Les précipitations annuelles moyennes devraient diminuer dans le sud-ouest des États-Unis, mais augmenter dans la majeure partie du reste de l'Amérique

**Tableau 5.7:** Changements observés des ressources en eau de l'Amérique du Nord au cours du siècle dernier (↑ = augmentation, ↓ = diminution)

Changement des ressources en eau	Exemples du quatrième Rapport d'évaluation
Pointe de débit des cours d'eau avancée de 1 à 4 semaines en raison de la fonte précoce des neiges associée au réchauffement	Régions de l'ouest des États-Unis et de la Nouvelle-Angleterre américaine, Canada [GT II 1.3, 14.2]
↓ Proportion des précipitations sous forme de neige	Ouest du Canada et prairies, ouest des États-Unis [GT II 14.2, GT I 4.2]
↓ Durée et étendue de la couverture neigeuse	Majorité de l'Amérique du Nord [GT I 4.2]
↑ Précipitations annuelles	Majorité de l'Amérique du Nord [GT I 3.3]
↓ Équivalent en eau de la neige des montagnes	Ouest de l'Amérique du Nord [GT I 4.2]
↓ Précipitations annuelles	Centre des montagnes Rocheuses, sud-ouest des États-Unis, prairies canadiennes et est de l'Arctique [GT II 14.2]
↑ Fréquence des épisodes de fortes pluies	Majorité des États-Unis [GT II 14.2]
↓ Ruissellement et écoulement fluvial	Bassins des fleuves Colorado et Columbia [GT II 14.2]
Dégel généralisé du pergélisol	Majorité du nord du Canada et Alaska [GT II 14.4, 15.7]
↑ Température de l'eau des lacs (0,1 à 1,5 °C)	Majorité de l'Amérique du Nord [GT II 1.3]
↑ Écoulement fluvial	Majorité de l'est des États-Unis [GT II 14.2]
Recul des glaciers	Montagnes de l'ouest des États-Unis, Alaska et Canada [GT I 4.RE, 4.5]
↓ Couverture de glace	Grands Lacs, golfe du Saint-Laurent [GT II 4.4, 14.2]
Salinisation des eaux de surface côtières	Floride, Louisiane [GT II 6.4]
↑ Périodes de sécheresse	Ouest des États-Unis, sud du Canada [GT II 14.2]

du Nord jusqu'en 2010. [GT I 11.5.3.2; GT II 14.3.1]. Au Canada, selon le scénario A1B, les précipitations annuelles moyennes devraient augmenter d'environ 20 %, et les précipitations hivernales de 30 %. Certaines études prévoient une augmentation généralisée des précipitations extrêmes [GT I 11.5.3.3; GT II 14.3.1], mais aussi des sécheresses associées à une plus grande variabilité temporelle des précipitations. En général, les changements prévus des extrêmes des précipitations sont supérieurs à ceux des précipitations moyennes. [GT I 10.3.6.1; GT II 14.3.1]

Le réchauffement et les changements de forme, de périodicité et de volume des précipitations entraîneront *très probablement* une fonte précoce et une réduction du manteau neigeux dans les montagnes de l'ouest vers le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle. Selon les projections concernant les bassins versants de montagne où la fonte des neiges est prépondérante, le ruissellement d'eau de fonte sera plus précoce, les débits d'hiver et du début du printemps augmenteront (potentiel d'inondation accru) et les débits d'été diminueront largement. [GT II 14.4] Ainsi, les réseaux d'eau surexploités de l'ouest des États-Unis et du Canada dépendant de la récupération du ruissellement de neige fondue pourraient devenir particulièrement vulnérables, tout comme les réseaux qui dépendent du ruissellement des glaciers. [GT II 14.2, 15.2]

En Colombie britannique, les incidences prévues incluent une augmentation des précipitations hivernales, des crues de printemps plus intenses sur les côtes et à l'intérieur des terres et une augmentation des sécheresses en été le long de la côte méridionale et au sud du continent. Ces incidences entraîneraient une diminution de l'écoulement fluvial dans ces régions et compromettraient la survie des poissons et l'approvisionnement en eau pendant l'été, lorsque la demande est la plus forte. Dans la région des Grands Lacs, les incidences prévues associées aux niveaux d'eau plus bas vont *probablement* aggraver les problèmes liés à la qualité de l'eau, à la navigation, aux loisirs, à la génération d'énergie hydroélectrique, aux transferts de l'eau et aux relations binationales. [GT II 14.2, 14.4] Un grand nombre d'évaluations (mais pas la totalité) prévoient une diminution de l'approvisionnement nette des bassins et des niveaux d'eau pour le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent. [GT II 14.RE, 14.2]

En raison du changement climatique, la disponibilité des eaux souterraines sera *probablement* influencée par trois facteurs principaux: les *prélèvements* (reflétant le développement, la demande et la disponibilité d'autres sources), l'*évapotranspiration* (qui augmente avec la température) et l'*alimentation* (déterminée par la température, la répartition dans le temps et le volume des précipitations, ainsi que les interactions des eaux de surface). Les débits de base annuels simulés des eaux souterraines et les niveaux des aquifères dépendent de la température, des précipitations et du pompage: ils diminuent selon les scénarios plus secs ou dont le pompage est supérieur, et ils augmentent dans les scénarios plus humides. Dans certains cas, on observe des décalages des débits de base: augmentation en hiver et diminution au printemps et au début de l'été. [GT II 14.4.1] Dans les régions semi-arides et arides de l'Amérique du Nord, une augmentation de l'évapotranspiration ou du pompage des eaux souterraines pourrait entraîner une salinisation des aquifères peu profonds. [GT II 3.4] De plus, le changement climatique augmentera *probablement* l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers au fur et à mesure de l'élévation du niveau de la mer. [GT II 3.4.2]

### 5.6.2.2 Énergie

On sait que la production d'énergie hydroélectrique est sensible au ruissellement total, au moment où il se produit et au niveau des réservoirs. Par exemple, pendant les années 1990, le niveau des Grands Lacs a diminué suite à une longue sécheresse et, en 1999, la production d'énergie hydroélectrique a considérablement chuté sur le Niagara et au Saut Sainte-Marie (CCME, 2003). [GT II 4.2] En cas de réchauffement de 2 à 3 °C dans le bassin du fleuve Columbia et dans les zones d'activité du Service hydrologique de Colombie britannique, l'approvisionnement en hydroélectricité augmentera *probablement* (degré de confiance élevé) dans les conditions les plus défavorables pour la pointe de demande de l'hiver. De même, les rendements hydroélectriques du fleuve Colorado diminueront *probablement* de manière significative (Christensen *et al.*, 2004), ainsi que ceux des Grands Lacs (Moulton et Cuthbert, 2000; Lofgren *et al.*, 2002; Mirza, 2004). Une diminution des niveaux d'eau des Grands Lacs entraînerait de grosses pertes économiques (437 à 660 millions de dollars canadiens/an), et une augmentation entraînerait de faibles bénéfices (28 à 42 millions de dollars canadiens/an) (Buttle *et al.*, 2004; Ouranos, 2004). Au nord du Québec, la production d'énergie hydroélectrique profiterait *probablement* d'une augmentation des précipitations et de davantage de conditions d'eau libre, mais les centrales hydroélectriques du sud du Québec seraient *probablement* affectées par des niveaux d'eau inférieurs. Les conséquences des changements de la distribution saisonnière des débits et du moment de formation des glaces sont incertaines (Ouranos, 2004). [GT II 3.5, 14.4.8]

Les ressources solaires pourraient être influencées par les changements futurs de la nébulosité, qui pourrait légèrement augmenter le potentiel d'énergie solaire en Amérique du Nord, au sud de 60°N (d'après plusieurs modèles et d'après le scénario d'émissions A1B pour la période de 2080 à 2099 par rapport à celle de 1980 à 1999). [GT I figure 10.10] Cependant, Pan *et al.* (2004) ont prévu l'inverse, c'est-à-dire qu'une augmentation de la nébulosité diminuerait de 0 à 20 % le rendement potentiel d'énergie photovoltaïque (d'après les modèles HadCM2 et RegCM2<sup>24</sup> avec un scénario d'augmentation du CO<sub>2</sub> idéalisé). [GT II 14.4.8] Le potentiel bioénergétique est sensible au climat via des incidences directes sur la croissance des cultures et sur la disponibilité en eau d'irrigation. Les cultures bioénergétiques devraient remporter des surfaces agricoles à un prix de 33 dollars des États-Unis/10<sup>6</sup> g, ou environ 1,83 dollar des États-Unis /10<sup>9</sup> joules (Walsh *et al.*, 2003). Le réchauffement et l'augmentation des précipitations devraient permettre à la culture bioénergétique (panic érigé) d'entrer efficacement en concurrence avec les cultures classiques dans le centre des États-Unis (d'après le modèle RegCM2 et le doublement de la concentration en CO<sub>2</sub>) (Brown *et al.*, 2000). [GT II 14.4.8]

### 5.6.2.3 Santé

Les épidémies de maladies d'origine hydrique dues à diverses causes sont nettement saisonnières en Amérique du Nord, regroupées dans certains bassins versants, et elles sont associées aux chutes de pluie importantes (aux États-Unis: Curriero *et al.*, 2001) ou à des précipitations extrêmes et aux températures plus élevées (au Canada: Thomas *et al.*, 2006). Un ruissellement important suite à des chutes de pluie intenses peut également polluer des eaux de loisirs et augmenter le risque de maladies humaines (Schuster *et al.*, 2005) via une concentration bactérienne plus élevée. Cette association est souvent plus prononcée au niveau des plages proches de cours d'eau (Dwight *et al.*, 2002). Les maladies à transmission hydrique et la dégradation de la qualité de l'eau augmenteront *très probablement* en cas d'accroissement des précipitations. Les maladies d'origine alimentaire sont également associées aux tendances de la température. En Alberta, la température ambiante est étroitement liée (mais pas de manière linéaire) à l'incidence des entéropathogènes (Fleury *et al.*, 2006). [GT II 14.RE, 14.2.5]

L'augmentation de l'activité cyclonique tropicale intense est *probable*. [GT I RiD] Les inondations par onde de tempête constituent déjà un problème le long du golfe du Mexique et des côtes atlantiques sud de l'Amérique du Nord. Le bilan de l'ouragan *Katrina* de 2005 est estimé à 1 800 morts [GT II 6.4.2]; certains décès et un grand nombre de cas de maladies diarrhéiques ont été liés à la pollution de l'approvisionnement en eau (CDC, 2005; Manuel, 2006). [GT II 8.2.2; voir également le paragraphe 4.5 concernant les inondations fluviales]

### 5.6.2.4 Agriculture

Depuis le troisième Rapport d'évaluation, la recherche favorise la conclusion de l'augmentation *probable* des rendements de l'agriculture pluviale en Amérique du Nord suite à un changement climatique modéré, mais avec une augmentation plus faible et une variabilité spatiale plus prononcée qu'avec les estimations précédentes (*degré de confiance élevé*) (Reilly, 2002). Un grand nombre des cultures qui approchent actuellement des seuils climatiques devraient cependant voir leurs rendements et leur qualité (voire les deux) diminuer même si le réchauffement est modeste (*degré de confiance moyen*) (Hayhoe *et al.*, 2004; White *et al.*, 2006). [GT II 14.4.4]

La vulnérabilité de l'agriculture nord-américaine vis-à-vis du changement climatique est multidimensionnelle et déterminée par les interactions entre les conditions préalables, les contraintes indirectes issues du changement climatique (par exemple, les changements dans la concurrence entre les parasites, la disponibilité en eau) et la capacité du secteur à faire face à de multiples facteurs interdépendants, notamment la concurrence économique avec d'autres régions ainsi que les améliorations des cultivars et de la gestion des exploitations (Parson *et al.*, 2003).

<sup>24</sup> Voir appendice I pour la description des modèles.

La disponibilité en eau est le principal facteur limitant pour l'agriculture dans le sud-est de l'Arizona, mais les agriculteurs de cette région pensent que les technologies et les adaptations telles que l'assurance récolte ont récemment diminué la vulnérabilité (Vasquez-Leon *et al.*, 2003). Les régions aux faibles dotations financières et de ressources (par exemple, les plaines du nord des États-Unis) sont particulièrement vulnérables au changement climatique (Antle *et al.*, 2004). Les pratiques d'utilisation non durable des terres auront tendance à augmenter la vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique dans les Grandes Plaines des États-Unis (Polsky et Easterling, 2001). [GT II 14.4.4; voir également le paragraphe 4.2.2] Les réseaux à base d'eaux souterraines fortement utilisés dans le sud-ouest des États-Unis subiront *probablement* des contraintes supplémentaires du fait du changement climatique qui entraînera une diminution de l'alimentation (*degré de confiance élevé*), ce qui nuira à la productivité agricole. [GT II 14.4.1]

La diminution de la couverture neigeuse et une augmentation des chutes de pluie sur un sol nu en hiver prolongeront *probablement* la période d'érosion (qui augmentera donc) et augmenteront les incidences éventuelles sur la qualité de l'eau dans les régions agricoles. Les pratiques de gestion des terres (notamment, les résidus des cultures, l'absence de labour) dans la ceinture céréalière de l'Amérique du Nord peuvent ne pas fournir une protection suffisante contre l'érosion suite à de futures précipitations intenses et au ruissellement consécutif (Hatfield et Pruger, 2004; Nearing *et al.*, 2004). [GT II 14.4.1]

#### 5.6.2.5 Biodiversité

Au cours des prochaines décennies, un large éventail d'espèces et de biomes pourraient être affectés par les changements prévus de précipitations, d'humidité du sol, des niveaux des eaux de surface et de l'écoulement fluvial en Amérique du Nord.

La diminution des niveaux d'eau des lacs et des étangs, par exemple, peut entraîner un échec de la reproduction des amphibiens et des poissons. Les différentes réponses d'une espèce à l'autre peuvent modifier la composition de la communauté aquatique et le flux d'éléments nutritifs. Des modifications de configuration des précipitations et des régimes de sécheresse peuvent susciter d'autres perturbations dans les écosystèmes, notamment les incendies (Smith *et al.*, 2000) et les invasions biologiques (Zavaleta et Hulvey, 2004). [GT II 14.4.2] Côté continent, le remplacement des marais herbeux d'eau douce par des mangroves plus tolérantes vis-à-vis du sel, par exemple dans la région des Everglades, au sud-est de la Floride depuis les années 1940, a été attribué aux effets combinés de l'élévation du niveau de la mer et de la gestion de l'eau, ce qui a abaissé les nappes phréatiques (Ross *et al.*, 2000). [GT II 1.3.3.2] Les changements du ruissellement d'eau douce vers la côte peuvent altérer la salinité, la turbidité et

d'autres paramètres de qualité de l'eau qui déterminent la productivité et la distribution des communautés végétales et animales. [GT II 6.4]

Aux latitudes élevées, plusieurs modèles simulent une augmentation de la productivité primaire nette des écosystèmes en Amérique du Nord, suite à l'extension des forêts vers la toundra et à l'allongement des saisons de croissance (Berthelot *et al.*, 2002). Cette augmentation ne sera en grande partie possible que si l'augmentation des précipitations est suffisante pour compenser l'augmentation de l'évapotranspiration dans un climat plus chaud. La croissance de la forêt semble s'accélérer lentement dans les régions où la croissance des arbres a été limitée dans le passé par des températures basses et par des saisons de croissance courtes. La croissance se ralentit cependant dans les régions soumises à la sécheresse. La croissance radiale de l'épinette blanche sur les pentes sèches orientées vers le sud en Alaska a diminué au cours des dernières 90 années, en raison d'un stress accru causé par la sécheresse (Barber *et al.*, 2000). Les expériences de modélisation de Bachelet *et al.* (2001) prévoient une extension de 11 % de la superficie des écosystèmes limités par la sécheresse pour un réchauffement de 1 °C dans la partie continentale des États-Unis. [GT II 14.4] Dans la région de la Prairie, en Amérique du Nord, des modèles ont prévu une augmentation de la sécheresse suite à une augmentation de la température de 3 °C dans la région et aux changements variables de précipitations entraînant de grosses pertes de zones humides et des réductions des populations d'oiseaux d'eau qui s'y reproduisent (Johnson *et al.*, 2005). [GT II 4.4.10]

La viabilité écologique des poissons et la productivité des pêcheries sont étroitement liées à l'approvisionnement en eau et à la température de l'eau. Le changement climatique va *probablement* nuire aux pêcheries des eaux froides, tandis que celles des eaux chaudes devraient généralement en profiter; les résultats des pêcheries des eaux tempérées seront mitigés, avec des gains dans le nord et des pertes dans les parties méridionales de leur distribution. Les salmonidés, qui préfèrent les eaux froides et claires, pâtiront *probablement* le plus des incidences négatives (Gallagher et Wood, 2003). Les pêcheries des eaux douces de l'Arctique seront *probablement* les plus affectées, étant donné qu'à cet endroit, le réchauffement sera le plus important (Wrona *et al.*, 2005). Dans le lac Érié, le recrutement des larves du doré jaune qui fraie dans les rivières dépendra des changements de température et de débit; en revanche, les cheptels frayant dans les lacs seront *probablement* amenés à diminuer en raison des effets du réchauffement et de la diminution du niveau des lacs (Jones *et al.*, 2006). Les distributions des espèces d'eaux chaudes auront tendance à se décaler vers le nord ou vers des altitudes plus élevées (Clark *et al.*, 2001; Mohseni *et al.*, 2003) suite aux changements de température de l'eau. [GT II 14.4]

### Encadré 5.7: Sécheresse et changements climatiques dans le bassin du fleuve Colorado

Le fleuve Colorado fournit une grande partie de l'eau nécessaire à sept États des États-Unis d'Amérique, deux États du Mexique et 34 tribus d'Amérindiens (Pulwarty *et al.*, 2005), à savoir une population de 25 millions d'habitants, qui devrait atteindre 38 millions de personnes à l'horizon 2020. Au cours des cent dernières années, la superficie totale affectée par une sécheresse climatologique sévère ou extrême aux États-Unis a été d'environ 14 % en moyenne chaque année, ce chiffre ayant atteint 65 % en 1934.

L'extension de la population et des activités économiques vers l'ouest et les réactions aux épisodes de sécheresse ont entraîné la mise en place d'adaptations structurelles significatives dans les environnements semi-arides, notamment la création de centaines de réservoirs, de projets d'irrigation et le recours à des prélèvements d'eaux souterraines. Comme la littérature en atteste largement, c'est pendant la période la plus humide des 400 dernières années (à savoir 1905-1925) que les eaux du Colorado ont été attribuées aux États du bassin, aux États-Unis. Récemment, l'ouest du pays a subi une longue sécheresse: 30 à 40 % de la région a été soumise à une sécheresse intense depuis 1999, et le Colorado a enregistré son débit quinquennal le plus bas entre 2000 et 2004. Au même moment, les États du sud-ouest des États-Unis ont enregistré un taux de la croissance démographique parmi les plus rapides du pays, avec les demandes de ressources en eau des secteurs social, économique et environnemental que cette croissance implique et les conflits juridiques correspondants (Pulwarty *et al.*, 2005).

Seule une petite partie (environ 15 %) de la région du bassin du Colorado fournit la plus grande partie (85 %) de son débit. Les estimations indiquent que, du fait de l'augmentation du réchauffement climatique et de l'évaporation, la diminution correspondante du ruissellement pourrait atteindre 30 % au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (Milly *et al.*, 2005). Dans de telles conditions, et avec les prélèvements prévus, les critères de l'accord sur la gestion des eaux du Colorado (Colorado River Compact) ne pourraient être satisfaits que pendant 60 à 75 % du temps à l'horizon 2025 (Christensen *et al.*, 2004). Quelques études prévoient que, à l'horizon 2050, les conditions d'humidité moyennes, dans le sud-ouest des États-Unis, pourraient égaler celles observées dans les années 1950. Ces changements pourraient survenir suite à une augmentation des températures (via une augmentation de la sublimation et de l'évaporation et une réduction de l'humidité), même si les précipitations restent pratiquement constantes. Quelques chercheurs pensent que ces évaluations, du fait du choix du modèle, pourraient en fait sous-estimer les diminutions futures.

La plupart des scénarios concernant le débit du fleuve Colorado à hauteur de Lees Ferry (qui sépare le bassin supérieur du bassin inférieur) prévoient que, d'ici 20 ans, il pourrait ne pas suffire pour satisfaire les demandes actuelles en eau de consommation. L'expérience récente indique que des conditions critiques existent déjà dans le bassin (Pulwarty *et al.*, 2005). La variabilité et le changement climatiques, ainsi que des contraintes de développement accrues, entraîneront des incidences de sécheresse bien au-delà des expériences institutionnelles dans la région et aggraveront les conflits entre les utilisateurs des ressources en eau.

#### 5.6.2.6 Études de cas des incidences du changement climatique dans les grands bassins versants d'Amérique du Nord

Les encadrés 5.7 et 5.8 décrivent deux cas illustrant les éventuelles incidences du changement climatique et les problèmes de gestion occasionnés par ce phénomène dans des environnements respectivement pauvres et riches en eau dans l'ouest de l'Amérique du Nord: les bassins des fleuves Colorado et Columbia.

#### 5.6.3 Adaptation

Bien que l'Amérique du Nord fasse preuve d'une énorme capacité d'adaptation aux aspects du changement climatique liés à l'eau, les pratiques actuelles n'ont pas toujours protégé les personnes et les biens des incidences négatives des crues, sécheresses, orages et autres phénomènes météorologiques

extrêmes. Sont particulièrement vulnérables les populations autochtones et les personnes socialement ou économiquement défavorisées. En Amérique du Nord, les traditions et les institutions ont encouragé un cadre de réponses décentralisé dans lequel l'adaptation est souvent réactive, inégalement répartie et centrée sur la résolution plutôt que sur la prévention des problèmes. Des exemples de comportement adaptatif exclusivement ou principalement influencé par des projections sur le changement climatique et ses effets sur les ressources en eau sont peu présents dans la littérature. [GT II 14.5.2] Une condition préalable décisive pour la durabilité en Amérique du Nord est l'intégration des questions climatiques dans la prise de décisions. [GT II 14.7]

La vulnérabilité de l'Amérique du Nord dépend de l'efficacité de l'adaptation et de la répartition de la capacité de faire face; ces deux qualités sont actuellement mal réparties

### Encadré 5.8: Le changement climatique complique la gestion du bassin du fleuve Columbia [GT II encadré 14.2]

La gestion actuelle de l'eau du bassin de la Columbia implique de trouver l'équilibre entre des demandes complexes et souvent concurrentes d'utilisations pour l'énergie hydroélectrique, la navigation, le contrôle des crues, l'irrigation, les municipalités et la conservation de plusieurs populations d'espèces menacées d'extinction (par exemple, le saumon). Les besoins actuels et prévus pour ces utilisations dépassent l'approvisionnement existant. La gestion de l'eau dans le bassin est réalisée dans un cadre institutionnel complexe, impliquant deux États souverains (*Traité du fleuve Columbia*, ratifié en 1964), des populations autochtones ayant des droits conventionnels définis (décision du juge Boldt dans l'affaire opposant les États-Unis à l'État de Washington, en 1974) et un grand nombre d'agences gouvernementales fédérales, étatiques, provinciales et locales (Miles *et al.*, 2000; Hamlet, 2003). La pollution (principalement via des sources diffuses) est un problème important dans un grand nombre d'affluents. Les dispositions de la loi occidentale sur l'eau qui suivent le principe du «premier arrivé, premier servi», dans la partie américaine du bassin compliquent la gestion de l'eau et réduisent le volume d'eau disponible pour les utilisateurs d'eau secondaires (Gray, 1999; Scott *et al.*, 2004). Les complexités s'étendent aux différentes responsabilités juridictionnelles lorsque les débits sont élevés et quand ils sont bas, ou lorsque les affluents, le cours principal ou l'océan abritent des espèces protégées (Miles *et al.*, 2000; Mote *et al.*, 2003).

Avec le changement climatique, le débit annuel prévu de la Columbia ne devrait pas beaucoup changer, mais les débits saisonniers pourraient se décaler nettement pour donner des débits d'hiver et de printemps plus élevés et des débits d'été et d'automne plus faibles (Hamlet et Lettenmaier, 1999; Mote *et al.*, 1999). Ces changements de débit coïncideront *probablement* avec une demande en eau accrue, surtout du fait de la croissance régionale, mais également du fait du changement climatique. La perte de disponibilité en eau en été aggraverait les conflits autour de l'eau, déjà présents les années de faible débit (Miles *et al.*, 2000). Le changement climatique devrait aussi influencer les approvisionnements des villes en eau dans le bassin. Par exemple, un réchauffement de 2 °C prévu pour les années 2040 pourrait augmenter la demande en eau de Portland, dans l'Oregon, de 5,7 millions m<sup>3</sup>/an, avec une demande supplémentaire de 20,8 millions m<sup>3</sup>/an due à la croissance démographique, tout en diminuant l'approvisionnement de 4,9 millions m<sup>3</sup>/an (Mote *et al.*, 2003). Les prévisions climatiques sur le long terme sont de plus en plus prises en compte pour la gestion du fleuve, mais de manière limitée (Hamlet *et al.*, 2002; Lettenmaier et Hamlet, 2003; Gamble *et al.*, 2004; Payne *et al.*, 2004). Chacun des 43 sous-bassins du réseau possède son propre plan de gestion en ce qui concerne les poissons, la faune et la flore, mais aucun ne traite globalement des débits d'été réduits du fait du changement climatique (ISRP/ISAB, 2004).

Les problèmes de gestion de l'eau dans le bassin de la Columbia vont *probablement* s'aggraver avec le changement climatique, du fait des changements dans le manteau neigeux et les débits saisonniers (Miles *et al.*, 2000; Parson *et al.*, 2001; Cohen *et al.*, 2003). La capacité des gestionnaires à atteindre les objectifs d'exploitation (fiabilité) diminuera *probablement* de manière importante avec le changement climatique (tel que prévu par les MCGAO HadCM2 et ECHAM4/OPYC3 selon le scénario d'émissions IS92a du GIEC pour les années 2020 et 2090) (Hamlet et Lettenmaier, 1999). Les pertes de fiabilité devraient atteindre 25 % d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (Mote *et al.*, 1999) et interagir avec les exigences en matière de règles de fonctionnement. Par exemple, certaines règles dénommées *fishfirst* devraient réduire la fiabilité des ressources énergétiques des entreprises de 10 % dans les conditions climatiques actuelles et de 17 % durant les années marquées par la phase chaude de l'oscillation décennale du Pacifique (ODP). Les mesures adaptatives pourraient modérer l'impact de la diminution du manteau neigeux en avril, mais elles pourraient entraîner de 10 à 20 % de pertes de l'énergie hydroélectrique pour les entreprises et diminuer les débits d'été actuels pour les poissons (Payne *et al.*, 2004). L'intégration dans les processus de planification régionaux de l'adaptation au changement climatique en est aux premières étapes de son développement (Cohen *et al.*, 2006).

et n'ont pas toujours protégé les populations vulnérables des incidences négatives de la variabilité du climat et des phénomènes météorologiques extrêmes. [GT II 14.7] Les États-Unis et le Canada ont développé des économies dotées d'infrastructures étendues et d'institutions évoluées, avec une grande variation régionale et socioéconomique (NAST, 2000; Lemmen et Warren, 2004). Ces capacités ont permis l'élaboration de stratégies d'adaptation et de parade dans un large éventail de conditions historiques, avec des succès et des échecs. La plupart des études sur

les stratégies adaptatives tiennent compte de la mise en œuvre basée sur des expériences antérieures (Paavola et Adger, 2002). [GT II 14.5]

Au cours de la dernière décennie, l'agriculture nord-américaine a été exposée à un grand nombre de phénomènes météorologiques violents. Un temps plus variable, auquel s'ajoute une émigration des zones rurales et des contraintes économiques, a augmenté la vulnérabilité du secteur agricole dans son ensemble, ce qui suscite des préoccupations sur

sa capacité future à faire face à un climat plus variable (Sénat du Canada, 2003; Wheaton *et al.*, 2005). Cependant, l'agriculture nord-américaine est dynamique. L'adaptation aux multiples contraintes et opportunités, notamment des changements de marché et de temps, fait partie du processus normal de ce secteur. On utilise souvent la diversification des cultures et des entreprises, ainsi que la conservation du sol et de l'eau pour réduire les risques liés au temps (Wall et Smit, 2005). [GT II 14.2.4]

Un grand nombre de villes d'Amérique du Nord ont initié des actions «sans regrets» fondées sur l'expérience historique (MWD, 2005). [GT II encadré 14.3] En outre, des entreprises du Canada et des États-Unis investissent dans des mesures d'adaptation pertinentes pour faire face à l'évolution des ressources en eau, bien que peu de ces mesures semblent s'appuyer sur des projections des changements climatiques futurs. [GT II 14.5.1] Des exemples de ces types d'adaptations sont les suivants:

- Les compagnies d'assurance investissent dans la recherche, afin de prévenir les dommages causés aux biens assurés par les catastrophes futures et d'ajuster les modèles de tarification (Munich Re, 2004; Mills et Lecompte, 2006). [GT II 14.2.4]
- Les exploitants de stations de ski investissent dans les remontées pour atteindre des altitudes plus élevées et dans les équipements destinés à compenser la diminution de la couverture neigeuse (Elsasser *et al.*, 2003; Census Bureau, 2004; Scott, 2005; Jones et Scott, 2006; Scott et Jones, 2006). [GT II 14.2.4]
- Depuis le début des années 1980, New York a réduit sa consommation totale d'eau de 27 % et sa consommation par habitant de 34 % (ville de New York, 2005). [GT II 14.2.4]
- Dans la région de Los Angeles, des programmes d'information et d'incitation des organismes locaux de gestion de l'eau encouragent la conservation de l'eau (MWD, 2005). [GT II encadré 14.3]
- Les agriculteurs adaptent les cultures et la sélection des variétés, les stratégies d'irrigation et l'application de pesticides grâce aux informations très détaillées sur les conditions météorologiques (Smit et Wall, 2003). [GT II 14.2.4]
- La ville de Peterborough, au Canada, a subi deux épisodes de crues centennales en 3 ans. Elle a réagi par le curage des réseaux de drainage et le remplacement du réseau d'égout principal pour satisfaire des critères de crues quinquennales plus extrêmes (Hunt, 2005). [GT II 14.5.1]
- Les sécheresses ayant touché récemment six villes importantes des États-Unis, dont New York et Los Angeles, ont entraîné des mesures adaptatives impliquant des investissements dans des systèmes de conservation de l'eau et de nouvelles installations d'approvisionnement en eau et de distribution d'eau (Changnon et Changnon, 2000). [GT II 14.5.1]
- Pour faire face à une augmentation de 15 % des fortes pluies, Burlington et Ottawa, en Ontario, ont pris des mesures structurelles et non structurelles, notamment l'orientation des tuyaux d'évacuation des eaux des pluies vers les pelouses, pour favoriser l'infiltration ainsi que l'augmentation du stockage temporaire dans les dépressions du sol et les rues (Waters *et al.*, 2003). [GT II 14.5.1]
- Une augmentation de la population de plus de 35 % (près d'un million de personnes) depuis les années 1970 a augmenté la consommation d'eau à Los Angeles de seulement 7 % (California Regional Assessment Group, 2002), en grande partie grâce aux pratiques de conservation. [GT II encadré 14.3]
- Le district régional de Central Okanagan en Colombie britannique a élaboré en 2004 un plan de gestion de l'eau pour une région connue sous le nom de Trepanier Landscape Unit; ce plan traite explicitement des scénarios climatiques, des changements prévus dans l'approvisionnement en eau et la demande d'eau, et des solutions d'adaptation (Cohen *et al.*, 2004; Summit Environmental Consultants, 2004). [GT II encadré 3.1, 20.8.2]

## 5.7 Régions polaires

### 5.7.1 Contexte

Les régions polaires sont celles qui devraient subir les changements liés au climat les plus précoces et les plus profonds, en grande partie du fait de leur grande composante cryosphérique qui domine également leurs processus hydrologiques et leurs ressources en eau. La préoccupation la plus grande quant à l'effet du changement climatique sur les ressources en eau des régions polaires concerne l'Arctique. En ce qui concerne l'Antarctique, l'accent a été mis sur le bilan de masse des principales nappes glaciaires et sur leur influence sur le niveau de la mer, et dans un moindre degré, sur les changements provoqués dans certains systèmes aquatiques. L'Arctique comprend une énorme diversité de ressources en eau, notamment un grand nombre des plus grands fleuves du monde (Lena, Ob, Mackenzie et Ienisseï), des mégadeltas (Lena et Mackenzie), de grands lacs (notamment le Grand lac de l'Ours), des glaciers et des calottes glaciaires étendus, ainsi que de grandes étendues de zones humides. En raison de sa population relativement peu nombreuse (quatre millions de personnes: Bogoyavlenskiy et Siggner, 2004) et de son climat rigoureux, les industries dépendant des ressources en eau telles que l'agriculture et la sylviculture sont d'assez petite envergure, alors que les pêcheries commerciales et de subsistance sont nombreuses. Bien que quelques peuples nomades soient encore importants dans certains pays arctiques, les populations se concentrent de plus en plus dans

des établissements humains plus grands (les deux tiers de la population vivent actuellement dans des agglomérations de plus de 5 000 habitants), même si la plupart d'entre eux se situent à proximité des principaux cours d'eau et en dépendent pour leur transport. Le départ vers des communautés plus grandes a notamment augmenté l'accès à un approvisionnement en eau traitée et à des systèmes modernes d'évacuation de l'eau par les égouts (Hild et Stordhal, 2004). [GT I 10.6.4; GT II 15.2.1]

Une partie significative des ressources en eau de l'Arctique provient des bassins d'eau en amont des grands fleuves qui transportent l'eau à travers les régions septentrionales vers l'océan Arctique. Ces fleuves ont fait l'objet d'un développement hydroélectrique important et restent l'un des potentiels d'énergie hydroélectrique non exploités les plus élevés du monde (par exemple, Shiklomanov *et al.*, 2000; Prowse *et al.*, 2004). Étant donné le rôle joué par ces fleuves dans le transport de chaleur, de sédiments, d'éléments nutritifs, de polluants et de biotes vers le nord, les changements liés au climat se produisant à de plus basses latitudes exercent un effet puissant sur l'Arctique. De plus, les changements touchant le débit combiné de tous les bassins hydrographiques de l'Arctique ont été identifiés comme étant d'une importance capitale pour le bilan d'eau douce de l'océan Arctique, la production de glace de mer et, finalement, les effets potentiels sur la circulation thermohaline et sur le climat mondial. [GT I 10.3.4; GT II 15.4.1]

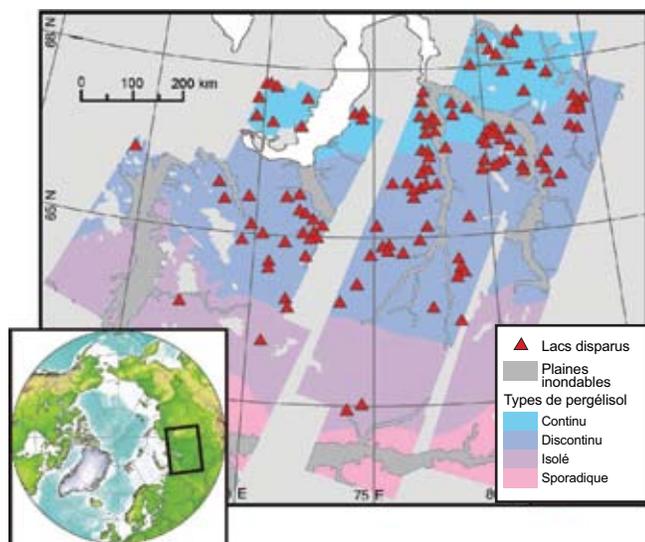
### 5.7.2 Changements observés

Le changement observé le plus significatif dans les ressources en eau de l'Arctique est l'augmentation, depuis les années 1930, du débit combiné des six fleuves eurasiatiques les plus importants (environ 7 %: Peterson *et al.*, 2002). L'augmentation du ruissellement des glaciers circumpolaires, des calottes glaciaires et de la nappe glaciaire du Groenland dans l'océan Arctique a également été remarquée à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, elle était alors comparable à l'augmentation de l'apport combiné des plus grandes rivières panarctiques (Dyurgerov et Carter, 2004). Les changements de bilan de masse des masses de glace sont liés à une réponse complexe à des changements de précipitations et de température, entraînant des tendances régionales opposées telles que celles qui se trouvent aux bords et dans certaines parties intérieures de la nappe glaciaire du Groenland (Abdalati et Steffen, 2001; Johannessen *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2005). En ce qui concerne l'augmentation du débit des fleuves eurasiens, d'éventuels facteurs de contrôle, tels que la fonte des glaces du pergélisol, les effets des feux de forêt et les variations des retenues de barrages ne sont plus considérés comme les responsables (McClelland *et al.*, 2004). Une étude de modélisation envisage que les facteurs anthropiques du forçage climatique aient pu jouer un rôle. L'évaluation des effets du climat et d'autres facteurs sur le fleuve le plus grand de l'Arctique en Amérique du Nord, le fleuve Mackenzie, s'est avérée particulièrement difficile

du fait des grands effets amortisseurs du débit créés par les effets naturels de stockage et déstockage des principaux lacs et réservoirs (par exemple, Gibson *et al.*, 2006; Peters *et al.*, 2006). [GT I 9.5.4; GT II 15.4.1.1]

Les effets des précipitations sur le ruissellement sont difficiles à évaluer, en grande partie à cause de l'insuffisance et de la faible densité du réseau de nivo-pluviomètres de l'Arctique, mais il semblerait qu'ils aient lentement augmenté, au rythme d'environ 1 % par décennie (McBean *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2005). Les changements ont également été observés dans le volume des débits hivernaux des principales rivières de l'Arctique et ils ont été liés au réchauffement et à l'augmentation des précipitations hivernales dans le cas de la Lena (Yang *et al.*, 2002; Berezovskaya *et al.*, 2005). Cependant, même si ces changements semblaient être liés au climat, on les attribue tout simplement à la régulation hydroélectrique pour les fleuves Ob et Ienisseï (Yang *et al.*, 2004a, b). Des changements se sont également produits dans le moment de la crue du printemps, épisode dominant du débit des fleuves arctiques, mais ils n'ont pas été spatialement cohérents au cours des 60 dernières années, les rivières sibériennes adjacentes tendant à l'avancement de la crue (Lena: Yang *et al.*, 2002) ou à son retardement (Ienisseï: Yang *et al.*, 2004b). La glace d'eau douce flottante contrôle également la dynamique saisonnière des fleuves et des lacs de l'Arctique, en particulier les régimes d'inondation, et bien qu'aucun changement n'ait été rapporté en ce qui concerne la fréquence ou l'ampleur des crues liées à la glace, la durée de la couverture de glace a diminué dans une grande partie de la région subarctique (Walsh *et al.*, 2005). [GT II 15.2.1, 15.4.1.1]

Des changements significatifs se sont produits dans le pergélisol en Arctique au cours de la dernière moitié du siècle (Walsh *et al.*, 2005) et, étant donné le rôle du gélisol dans le contrôle des trajets d'écoulement de l'eau, le dégel du pergélisol pourrait être influencé par des réponses saisonnières en termes de précipitations et de ruissellement (Serreze *et al.*, 2003; Berezovskaya *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2005). Le dégel du pergélisol, et l'augmentation correspondante de la perméabilité du substrat, ont également été soupçonnés de causer des changements dans l'abondance des lacs dans certaines régions de Sibérie au cours d'une période de trois décennies à la fin du XX<sup>e</sup> siècle (Smith *et al.*, 2005; voir figure 5.12). Aux latitudes plus élevées, le dégel initial aurait pu augmenter la formation d'étangs en surface et l'abondance des lacs. Cependant, aux latitudes plus basses, le nombre de lacs a diminué car le dégel plus étendu et plus profond a permis à l'eau accumulée de s'écouler vers les systèmes d'écoulement souterrain. Dans des régions plus vastes de l'Arctique, la composition biologique des communautés aquatiques des lacs et des étangs répond à des décalages de l'augmentation de la température annuelle moyenne de l'air et des températures estivales, et aux changements correspondants dans la



**Figure 5.12:** Emplacements de lacs sibériens disparus après une période de trois décennies d'augmentation de la température du sol et de l'air (changements observés par imagerie satellitaire depuis le début des années 1970 jusqu'en 1997 à 2004), superposés à divers types de pergélisol. La configuration spatiale de la disparition des lacs laisse à penser que le dégel du pergélisol a entraîné les pertes observées. D'après Smith et al. (2005). Réimprimé avec l'autorisation d'AAAS. [GT II figure 15.4]

stratification et la stabilité thermiques, ainsi que dans la durée de la couverture de glace (Korhola *et al.* 2002; Ruhland *et al.*, 2003; Pienitz *et al.*, 2004; Smol *et al.*, 2005; Prowse *et al.*, 2006). [GT I chapitre 4; GT II 15.4.1.1]

Les écosystèmes aquatiques d'eau douce de l'Antarctique semblent également être très réactifs vis-à-vis des variations climatiques, en particulier de la température de l'air, bien que plusieurs tendances soient observées dans tout le continent. On a observé que la productivité des lacs dans les vallées sèches, par exemple, avait diminué avec une diminution de la température de l'air (par exemple, Doran *et al.*, 2002). En revanche, l'augmentation de la température de l'air dans l'île maritime subantarctique de Signy a entraîné certaines des réponses les plus rapides et les plus importantes des températures lacustres à être documentées dans l'hémisphère Sud (Quayle *et al.*, 2002). De plus, les effets du réchauffement sur le manteau neigeux et la couche de glace ont généré un vaste ensemble de perturbations des écosystèmes (Quayle *et al.*, 2003). [GT II 15.2.2.2]

### 5.7.3 Changements prévus

La projection des changements relatifs à l'hydrologie (donc aux ressources en eau) de l'Arctique est problématique du fait de la grande variabilité de la saisonnalité et des configurations spatiales de précipitations d'un modèle MCG à l'autre. Bien que la plupart de ces modèles prévoient une augmentation, la projection du ruissellement dû aux

précipitations est rendue complexe par des problèmes liés à la répartition de la pluie et de la neige au fur et à mesure du réchauffement de la région, ou de la disponibilité de sources d'humidité supplémentaires du fait du recul des glaces de la mer. Cependant, en général, les dernières projections pour le ruissellement des principaux bassins hydrographiques de l'Arctique indiquent une augmentation globale de l'ordre de 10 à 30 %. Cependant, un facteur dont il n'est pas tenu compte dans ces projections est l'augmentation de l'évapotranspiration qui se produira à mesure que la végétation terrestre dominante passera des lichens non transpirants de la toundra à diverses espèces ligneuses (par exemple, Callaghan *et al.*, 2005), même si elle peut être compensée par les réductions de la transpiration liées au CO<sub>2</sub> (par exemple, Gedney *et al.*, 2006). De même, les projections du ruissellement actuel ne tiennent pas compte des effets du futur dégel du pergélisol et de l'approfondissement des couches actives (Anisimov et Belolutskaia, 2004; Instanes *et al.*, 2005), ce qui reliera davantage les régimes d'écoulement des eaux de surface et des eaux souterraines, avec pour résultat des changements majeurs dans les hydrogrammes saisonniers. Une humidification ou un assèchement correspondant de la toundra, couplé au réchauffement et à l'approfondissement de la couche active déterminera son statut de source ou de puits pour les flux de carbone et de méthane. Le dégel du pergélisol et l'augmentation du débit devraient également causer une augmentation des charges en sédiments des rivières (Syvitski, 2002) et d'éventuelles transformations majeures sur les réseaux de canaux (Bogaart et van Balen, 2000; Vandenberghe, 2002). [GT I chapitre 10; GT II 15.4.2.3, 15.4.1.2]

Dans les deux régions polaires, le ruissellement augmentera du fait de l'ablation des glaciers, des calottes glaciaires et des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, bien que la majeure partie de l'eau de la fonte de certaines calottes glaciaires et nappes glaciaires soit directement déversée dans les océans avoisinants. Les divers glaciers dispersés dans tout l'Arctique, qui devraient connaître un net recul avec le temps, sont plus importants pour les ressources en eau. La disparition progressive des glaciers ou, dans un moindre degré, un nouveau bilan de masse, bien qu'augmentant initialement l'écoulement fluvial, entraînera finalement des conditions de débit plus faible, en particulier à la fin de l'été où le climat est plus sec et qui est une période critique pour le biote aquatique de l'Arctique. [GT I chapitre 10; GT II 15.4.1.3]

Le réchauffement prévu implique également la poursuite des tendances récentes vers un embâcle plus tardif, une débâcle plus précoce des rivières et des lacs (Walsh *et al.*, 2005) et des réductions de l'épaisseur de la couche de glace, ce qui provoquera des changements dans la structure thermique des lacs, la qualité et la quantité d'habitats sous la glace, et les effets sur les embâcles dans les rivières et sur les inondations subséquentes (Beltaos *et al.*, 2006; Prowse *et al.*, 2006). Ces derniers phénomènes sont importants car

ils représentent un risque pour un grand nombre d'établissements riverains septentrionaux, mais ils sont également cruciaux pour la conservation de la santé écologique des écosystèmes riverains qui dépendent de l'inondation du printemps qui apporte eau, sédiments et éléments nutritifs (Prowse *et al.*, 2006). [GT II 15.4.1.2, 15.6.2]

Les perturbations majeures, décrites précédemment, de l'hydrologie des régions froides de l'Arctique modifieront la biodiversité, la productivité, la disponibilité saisonnière d'habitats et la répartition géographique des espèces aquatiques, notamment les populations des principales pêcheries (Prowse *et al.*, 2006; Reist *et al.* 2006a, b, c; Wrona *et al.*, 2006). Les peuplades de l'Arctique, dont le mode de vie repose sur des économies de subsistance et des économies commerciales, obtiennent un grand nombre de services des écosystèmes d'eau douce (par exemple, biote exploitable), et des changements dans l'abondance, le réapprovisionnement, la disponibilité et l'accessibilité de telles ressources modifieront l'utilisation des ressources locales et les modes de vie traditionnels (Nuttall *et al.*, 2005; Reist *et al.*, 2006a). [GT II 15.4.1.3]

Étant donné que les projections annoncent que l'Arctique sera généralement plus humide, un certain nombre de processus hydrologiques viendront affecter les trajets d'écoulements et augmenter la charge en polluants (notamment les polluants organiques persistants et le mercure) dans les systèmes aquatiques de l'Arctique (MacDonald *et al.*, 2003). Les changements intervenant dans la structure trophique aquatique et les réseaux alimentaires (Wrona *et al.*, 2006) sont susceptibles de modifier l'accumulation de produits chimiques à bioamplification. Cela est particulièrement préoccupant pour la santé des habitants du nord qui dépendent des sources traditionnelles d'aliments locaux. Des modifications dans la répartition saisonnière et l'ampleur des débits et de l'eau de surface disponible seront également inquiétantes pour un grand nombre de communautés septentrionales qui dépendent des eaux de surface ou des eaux souterraines (souvent non traitées) pour l'eau potable (United States Environmental Protection Agency, 1997; Martin *et al.*, 2005). Les risques de contamination peuvent également augmenter avec le déplacement vers le nord d'espèces et des maladies correspondantes, et via la contamination par l'eau de mer des réserves souterraines, provoquée par l'élévation du niveau de la mer dans les communautés côtières (Warren *et al.*, 2005). [GT II 15.4.1]

Le nombre conséquent d'exploitations et d'infrastructures qui se concentrent de plus en plus à proximité des réseaux d'eau douce de l'Arctique sera fortement concerné par les changements touchant les régimes hydrologiques septentrionaux. Des exemples importants incluent la diminution de l'accès aux routes de glace pour les équipements de transport et les communautés septentrionales, la modification de la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines pour les communautés et l'industrie, la

perte de sûreté de confinement des déchets miniers dans les lacs septentrionaux surmontant le pergélisol, et une augmentation des débits et des risques liés à la glace pour les plateformes de forage et les réservoirs hydroélectriques (Commission internationale des grands barrages, 2000; Prowse *et al.*, 2004; Instanes *et al.*, 2005). Bien que la production d'électricité future n'ait pas encore été évaluée pour la totalité de l'Arctique, on estime que, d'après le scénario d'émissions IS92a, le potentiel d'énergie hydroélectrique des centrales existant à la fin du XX<sup>e</sup> siècle augmentera de 15 à 30 % en Scandinavie et dans le nord de la Russie. [GT I 3.5.1; GT II 15.4.1.4]

#### 5.7.4 Adaptation et vulnérabilité

Dans un grand nombre de systèmes hydrologiques cryosphériques, une grande partie de la vulnérabilité globale vis-à-vis du changement climatique des ressources en eaux douces de l'Arctique est liée aux futurs changements soudains associés aux changements de phase de l'eau passant de l'état solide à l'état liquide. Les écosystèmes d'eau douce de l'Arctique ont dans le passé pu s'adapter à de grandes variations climatiques, mais sur des périodes de plusieurs années (par exemple, Ruhland *et al.*, 2003). La vitesse des changements pour le siècle à venir devrait cependant être trop rapide pour permettre l'adaptation de certains biotes (Wrona *et al.*, 2006), et elle entraînera des incidences plus négatives que positives dans les écosystèmes d'eau douce (Wrona *et al.*, 2005). [GT II 15.2.2.2]

Du point de vue de l'utilisation humaine, les mesures potentielles d'adaptation sont extrêmement diverses, allant de mesures visant à faciliter l'utilisation des ressources en eau (notamment des changements de pratique pour la construction de routes de glace, une augmentation du transport en eau libre, la régulation du débit pour la génération d'énergie hydroélectrique, des stratégies d'exploitation et des méthodes pour l'accès à l'eau potable) jusqu'aux stratégies d'adaptation destinées à faire face aux risques liés à une augmentation ou à une diminution des eaux douces (notamment des structures de protection pour réduire les risques de crue ou une augmentation des débits pour les systèmes aquatiques; Prowse et Beltaos, 2002). De forts attachements culturels ou sociaux aux utilisations traditionnelles des ressources en eau de certaines peuplades septentrionales pourraient cependant compliquer l'adoption de certaines stratégies d'adaptation (McBean *et al.*, 2005; Nuttall *et al.*, 2005). [GT II 15.2.2.2]

## 5.8 Petites îles

### 5.8.1 Contexte

Le troisième Rapport d'évaluation (chapitre 17; GIEC, 2001b) a indiqué que les petits États insulaires partagent un

nombre important de similitudes (par exemple, la taille, la vulnérabilité aux catastrophes naturelles et aux extrêmes climatiques, la grande transparence de leur économie, la faible répartition des risques et la capacité d'adaptation limitée) qui augmentent leur vulnérabilité et réduisent leur résilience vis-à-vis de la variabilité et du changement climatiques. Malgré les différences dans les priorités sectorielles de différentes îles, trois thèmes communs ressortent.

- 1) Toutes les communications nationales des petits États insulaires<sup>25</sup> insistent sur l'urgence d'une action d'adaptation et sur le besoin de ressources financières pour appuyer une telle action.
- 2) L'eau douce est un facteur critique dans les petits États insulaires, tant en termes de qualité que de quantité.
- 3) Un grand nombre de petits États insulaires, notamment l'ensemble des petits États insulaires en développement (PEID), ressentent le besoin d'une planification et d'une gestion des bassins versants mieux intégrées.

[GT II TRE chapitre 17]

L'eau est une ressource multisectorielle qui intervient dans tous les volets de la vie et de la subsistance, y compris la sécurité. La fiabilité de l'approvisionnement en eau est un problème critique dans un grand nombre d'îles de nos jours, qui ne cessera de s'aggraver dans l'avenir. Il est clairement avéré que, dans la plupart des scénarios de changement climatique, les ressources en eau des petites îles vont *probablement* être sérieusement compromises [*degré de confiance très élevé*]. La plupart des petites îles disposent d'un approvisionnement en eau limité, et les ressources hydrologiques de ces îles sont particulièrement exposées aux futurs changements des régimes de pluie et de leur distribution. L'éventail des mesures adaptatives considérées et les priorités qui leur sont attribuées, sont étroitement liés aux principaux secteurs socioéconomiques de chaque pays, à leurs principales préoccupations environnementales et aux régions les plus vulnérables aux incidences du changement climatique telles que l'élévation du niveau de la mer. [GT II 16.RE, 16.5.2]

### 5.8.2 Tendances climatiques observées et projections pour les régions insulaires

Les conditions hydrologiques, l'approvisionnement en eau et l'utilisation de l'eau dans les petites îles posent des problèmes de recherche et d'adaptation assez différents de ceux qui se posent aux continents. Il est nécessaire de les étudier et de les modéliser pour un éventail de types d'îles, avec des géologies, des topographies et des couvertures

terrestres distinctes, en tenant compte de tous derniers scénarios et projections du changement climatique. [GT II 16.7.1] Depuis le troisième Rapport d'évaluation, de nouvelles observations et analyses des températures moyennes à la surface des terres et des océans mettent en évidence des tendances constantes au réchauffement dans toutes les régions de petites îles pour la période de 1901 à 2004. Cependant, ces tendances ne sont pas linéaires et les analyses sont fortement entravées par le manque de relevés historiques. [GT II 16.2.2.2]

Des études récentes montrent que les températures annuelles et saisonnières à la surface des océans et dans les îles ont augmenté de 0,6 à 1,0 °C depuis 1910, dans une grande partie du Pacifique Sud, au sud-ouest de la zone de convergence du Pacifique Sud (ZCPS)<sup>26</sup>, tandis que les augmentations décennales de 0,3 à 0,5 °C des températures annuelles ne sont largement observées que depuis les années 1970, précédées d'un certain refroidissement après les années 1940, date du début des relevés, dans le nord-est de la ZCPS (Salinger, 2001; Folland *et al.*, 2003). En ce qui concerne les Caraïbes, l'océan Indien et la région méditerranéenne, les analyses montrent que le réchauffement était de 0,24 à 0,5 °C par décennie pendant la période de 1971 à 2004. Certaines régions de latitude élevée, y compris l'ouest de l'archipel de l'Arctique canadien, ont subi un réchauffement plus rapide que la moyenne mondiale (McBean *et al.*, 2005). [GT II 16.2.2.2]

Les tendances des chutes de pluie journalières et de températures extrêmes dans le Pacifique Sud pour la période de 1961 à 2003 indiquent une augmentation du nombre de journées et de nuits chaudes par an, avec une diminution du nombre de journées et de nuits froides par an, en particulier les années consécutives au phénomène *El Niño*, les tendances de chutes de pluie extrêmes étant généralement moins régulières spatialement que celles des températures extrêmes (Manton *et al.*, 2001; Griffiths *et al.*, 2003). Dans les Caraïbes, le pourcentage de journées avec un minimum ou un maximum très chaud a fortement augmenté depuis les années 1950, tandis que le pourcentage des journées à températures basses a diminué (Petersen *et al.*, 2002). [GT II 16.2.2.2]

En ce qui concerne les Caraïbes, une augmentation de 1,5 à 2 °C de la température globale de l'air devrait affecter la région [GT II TRE chapitre 17] via:

- Une augmentation des pertes par évaporation;
- Une diminution des précipitations (suite d'une tendance à la diminution des chutes de pluie observée dans certaines parties de la région);
- Une diminution de la durée de la saison des pluies de 7 à 8 % à l'horizon 2050;

<sup>25</sup> Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), les pays doivent fournir des communications nationales périodiques indiquant leurs progrès accomplis dans la réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre (GES), les politiques et les mesures adoptées et les évaluations des besoins.

<sup>26</sup> La ZCPS fait partie de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), et est une bande de convergence, de nébulosité et de précipitations limitées qui s'étend du réservoir d'eaux chaudes du Pacifique Ouest à la Polynésie française, au sud-est.

- Une augmentation de la durée de la saison sèche de 6 à 8 % à l'horizon 2050;
- Une augmentation de la fréquence des chutes de pluie intenses de 20 % à l'horizon 2050;
- Une augmentation de l'érosion et de la pollution des régions côtières.

Dans un grand nombre de régions de petites îles, les variations des cyclones, ouragans et typhons tropicaux et extratropicaux sont dominées par l'ENSO et par la variabilité décennale. Il en résulte une redistribution des tempêtes tropicales et de leurs trajectoires, de telle sorte que les augmentations dans un bassin sont souvent compensées par des diminutions dans d'autres. Par exemple, lors d'un épisode *El Niño*, l'incidence des ouragans diminue généralement dans l'Atlantique et l'extrême ouest des régions du Pacifique et de l'Australasie, tandis qu'elle augmente dans le centre, le nord et le sud du Pacifique, en particulier dans la région des typhons de l'ouest du Pacifique Nord. Des preuves tirées d'observations indiquent une augmentation de l'activité cyclonique tropicale intense dans l'Atlantique Nord depuis 1970 environ, corrélée à des augmentations des températures de la mer en surface dans les tropiques. Il existe également des suggestions d'augmentation de l'activité cyclonique tropicale intense dans d'autres régions où les préoccupations liées à la qualité des données sont plus importantes. La variabilité multidécennale et la qualité des relevés avant 1970 compliquent la détection de tendances sur le long terme. Des estimations sur la capacité destructrice des cyclones tropicaux laissent entrevoir une tendance nette à la hausse depuis le milieu des années 1970. [GT I RT, 3.8.3; GT II 16.2.2.2]

Des analyses des relevés du niveau de la mer comportant au moins 25 ans de données horaires de stations installées autour du bassin du Pacifique indiquent une élévation relativement moyenne globale du niveau de la mer de 0,7 mm/an (Mitchell *et al.*, 2001). En se concentrant uniquement sur les stations insulaires comportant plus de 50 ans de données (quatre sites seulement), on constate que la vitesse moyenne de l'élévation du niveau de la mer (par rapport à la croûte terrestre) est de 1,6 mm/an. [GT I 5.5.2]

### 5.8.2.1 Eau

Le tableau 5.8, fondé sur sept MCG et différents scénarios d'émissions du SRES, compare les changements prévus des précipitations pour les petites îles par région. Dans les Caraïbes, un grand nombre d'îles devraient subir une augmentation du stress hydrique suite au changement climatique, tous les scénarios SRES prévoyant une diminution des précipitations en été dans toute la région. Il est peu probable que la demande soit satisfaite pendant les périodes de faibles pluies. Il est peu probable que les pluies hivernales plus importantes dans l'hémisphère Nord assurent une compensation, du fait du manque de capacités de stockage et du ruissellement important lors des tempêtes. [GT II 16.3.1]

**Tableau 5.8:** Changements prévus dans les précipitations des petites îles, par région (en %). Les fourchettes sont issues de sept MCGAO réalisés selon les scénarios B1, B2, A2 et A1FI du SRES. [GT II tableau 16.2]

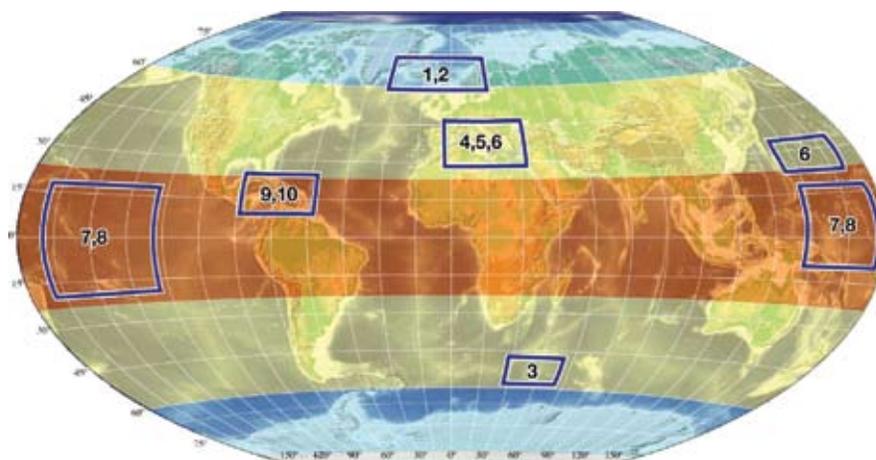
Régions	2010-2039	2040-2069	2070-2099
Méditerranée	-35,6 à +55,1	-52,6 à +38,3	-61,0 à +6,2
Caraïbes	-14,2 à +13,7	-36,3 à +34,2	-49,3 à +28,9
Océan Indien	-5,4 à +6,0	-6,9 à +12,4	-9,8 à +14,7
Pacifique Nord	-6,3 à +9,1	-19,2 à +21,3	-2,7 à +25,8
Pacifique Sud	-3,9 à + 3,4	-8,23 à +6,7	-14,0 à +14,6

Dans le Pacifique, une réduction de 10 % du volume moyen des pluies (d'ici à 2050) entraînerait une réduction de 20 % de la taille des lentilles d'eau douce sur l'atoll de Tarawa (Kiribati). Des chutes de pluie moindres, couplées à l'élévation du niveau de la mer, accentueraient les risques concernant la fiabilité de l'approvisionnement en eau. [GT II 16.4.1]

De nombreux petits États insulaires ont commencé à investir dans la mise en œuvre de stratégies d'adaptation, notamment le dessalement, pour compenser les pénuries d'eau actuelles et à venir. Cependant, les impacts des usines de dessalement elles-mêmes sur les agréments de l'environnement et la nécessité de traiter en profondeur les besoins en eau des écosystèmes n'ont pas encore été entièrement pris en compte. [GT II 16.4.1]

Étant donné la grande visibilité et les impacts des ouragans, les sécheresses ont moins attiré l'attention des chercheurs et des planificateurs, et pourtant elles peuvent entraîner une augmentation des prélèvements et l'éventualité d'une intrusion d'eau salée dans les aquifères situés près des côtes. Aux Bahamas, par exemple, les lentilles d'eau douce sont les seules ressources d'eaux souterraines exploitables. Ces lentilles sont périodiquement affectées par des intrusions d'eau salée provoquées par un excès de pompage et d'évapotranspiration. Dans la plupart des cas, les eaux souterraines se déplacent lentement et, par conséquent, les diminutions importantes des réserves d'eaux souterraines sont longues à compenser et peuvent ne pas être réversibles. La variabilité des volumes annuels d'eau disponible est généralement moins extrême que celle des ressources en eaux de surface. De plus, la dégradation de la qualité de l'eau et la pollution ont des effets durables et l'on ne peut pas y remédier rapidement. [GT II 16.4.1]

Certains États insulaires tels que Malte (MRAE, 2004) insistent sur les éventuels secteurs économiques qui nécessiteront une adaptation, notamment la génération d'énergie, le transport et la gestion des déchets, tandis que pour les Comores (GDE, 2002), Vanuatu (République de Vanuatu, 1999), ainsi que Saint-Vincent-et-les Grenadines (NEAB, 2000), ce sont les secteurs de l'agriculture et de



\* Les chiffres en gras correspondent aux régions définies sur la carte.

**Tableau 5.9:** Éventail des incidences futures et des vulnérabilités des petites îles [GT II encadré 16.1]

Région* et système menacés	Scénario et référence	Paramètres modifiés	Impacts et vulnérabilité
1. Islande, îles arctiques isolées du Svalbard et îles Féroé: écosystèmes marins et espèces végétales	Scénarios A1 et B2 du SRES ACIA (2005) Scénarios A1 et B2 du SRES	Augmentation prévue de la température	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le déséquilibre entre la perte et le remplacement des espèces entraîne une perte initiale de diversité. L'extension vers le nord de la végétation dominée par les arbustes nains et les arbres vers des régions riches en espèces endémiques rares entraîne leur perte.</li> <li>La grande diminution, voire la disparition totale du cheptel de capelan islandais entraîne des incidences négatives considérables sur la plupart des cheptels de poissons commerciaux, sur les baleines et les oiseaux de mer.</li> </ul>
2. Îles des latitudes élevées (îles Féroé): espèces végétales	Scénario I/II: augmentation/diminution de la température de 2 °C Fosaa <i>et al.</i> (2004)	Changements de la température du sol, de la couverture neigeuse et du degré-jour de croissance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scénario I: les espèces les plus touchées par le réchauffement sont confinées dans les zones les plus élevées des montagnes. En ce qui concerne les autres espèces, l'effet se manifestera surtout par une migration vers les hauteurs.</li> <li>Scénario II: les espèces touchées par le refroidissement sont celles qui vivent à des altitudes plus basses.</li> </ul>
3. Île Marion dans la zone subantarctique: écosystème	Scénarios propres Smith (2002)	Changements prévus de la température et des précipitations	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les changements affecteront directement le biote indigène. Une plus grande menace est qu'un climat plus chaud augmentera la vulnérabilité des îles aux espèces invasives.</li> </ul>
4. Cinq îles du bassin méditerranéen: écosystèmes	Scénarios A1FI et B1 du SRES Gritti <i>et al.</i> (2006)	Invasion de plantes non indigènes selon des scénarios climatiques et de perturbation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les incidences du changement climatique sont négligeables dans un grand nombre d'écosystèmes marins simulés.</li> <li>L'invasion des écosystèmes insulaires devient un problème de plus en plus sérieux. À long terme, les écosystèmes seront dominés par des plantes exotiques, indépendamment des taux de perturbation.</li> </ul>
5. Région méditerranéenne: oiseaux migrateurs (gobemouche noir - <i>Ficedula hypoleuca</i> )	Aucun (modèle GLM/ STATISTICA) Sanz <i>et al.</i> (2003)	Augmentation de la température, modification des niveaux d'eau et indice de végétation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Certaines composantes de la valeur adaptative du gobemouche noir souffrent du changement climatique dans deux des populations européennes d'oiseaux nicheurs les plus méridionales, avec des incidences négatives sur l'efficacité de la reproduction des gobemouches noirs.</li> </ul>
6. Pacifique et Méditerranée: herbe du Laos ( <i>Chromolaena odorata</i> )	Aucun (modèle CLIMEX) Kriticos <i>et al.</i> (2005)	Augmentation du stress lié à l'humidité, au froid, à la chaleur et à la sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Îles du Pacifique menacées par l'invasion de l'herbe du Laos.</li> <li>Les climats méditerranéens semi-arides et tempérés ne devraient pas convenir à l'invasion.</li> </ul>
7. Petites îles du Pacifique: érosion côtière, ressources en eau et établissements humains	Scénarios A2 et B2 du SRES Banque mondiale (2000)	Changements de la température et des précipitations, élévation du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'accélération de l'érosion côtière, l'intrusion d'eau salée dans les lentilles d'eau douce et l'augmentation des inondations marines entraînent des effets conséquents sur les établissements humains.</li> <li>Une diminution des chutes de pluie couplée à une accélération de l'élévation du niveau de la mer aggrave la menace qui pèse sur les ressources en eau; une réduction de 10 % des précipitations moyennes à l'horizon 2050 correspondra probablement à une réduction de 20 % de la taille des lentilles d'eau douce dans l'atoll de Tarawa, aux Kiribati.</li> </ul>

Région* et système menacés	Scénario et référence	Paramètres modifiés	Impacts et vulnérabilité
8. Samoa américaines et 15 autres îles du Pacifique: mangroves	Élévation du niveau de la mer de 0,88 m d'ici 2100 Gilman <i>et al.</i> (2006)	Élévation prévue du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de 50 % de la superficie des mangroves aux Samoa américaines; réduction de 12 % de la superficie des mangroves dans 15 autres îles du Pacifique.</li> </ul>
9. Caraïbes (Bonaire, Antilles néerlandaises): érosion de la plage et des habitats de nidification de la tortue marine	Scénarios A1, A1FI, B1, A2, B2 du SRES Fish <i>et al.</i> (2005)	Élévation prévue du niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>En moyenne, jusqu'à 38 % (écart type de <math>\pm 24</math> %) de la totalité des plages actuelles pourraient disparaître suite à une élévation de 0,5 m du niveau de la mer, les plages basses et étroites étant les plus vulnérables, réduisant ainsi l'habitat de nidification des tortues d'un tiers.</li> </ul>
10. Caraïbes (Bonaire, Barbade): tourisme	Aucun Uyarra <i>et al.</i> (2005)	Changements sur la faune marine, la santé, les particularités terrestres et les conditions marines	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'industrie touristique fondée sur les plages à la Barbade et l'industrie écotouristique fondée sur la plongée sous-marine à Bonaire sont toutes les deux négativement affectées par le changement climatique via l'érosion des plages à la Barbade et le blanchissement du corail à Bonaire.</li> </ul>

la santé humaine qui figurent le plus dans les communications. Dans ces cas, l'élévation du niveau de la mer ne semble pas être le principal problème, bien qu'elle le soit dans les États atolls peu élevés tels que Kiribati, Tuvalu, les îles Marshall et les Maldives. [GT II 16.4.2]

### 5.8.2.2 Énergie

L'accès à une énergie fiable et abordable est un élément vital dans la plupart des petites îles, où le coût élevé de l'énergie est considéré comme une barrière au développement durable. Certaines îles, telles que la Dominique dans les Caraïbes, dépendent en grande partie de l'énergie hydroélectrique pour leur approvisionnement énergétique. La recherche et le développement dans le domaine du rendement énergétique et les solutions adaptées aux petites îles, notamment les énergies solaire et éolienne, pourraient aider à mettre en place des stratégies d'adaptation et d'atténuation, tout en améliorant la perspective de réussir une croissance durable. [GT II 16.4.6, 16.4.7]

### 5.8.2.3 Santé

Un grand nombre de petites îles se trouvent dans des zones tropicales ou subtropicales où le temps est propice à la transmission de maladies, telles que le paludisme, la dengue, la filariose, la schistosomiase et des maladies d'origine hydrique ou alimentaire. Le taux d'occurrence de bon nombre de ces maladies est en augmentation dans les petites îles pour diverses raisons, dont des pratiques de santé publique médiocres, des infrastructures inadéquates, des pratiques de gestion des déchets inefficaces, une augmentation des voyages dans le monde et des conditions climatiques changeantes (OMS, 2003). Dans les Caraïbes, l'incidence de la dengue augmente pendant les années chaudes des cycles de l'ENSO (Rawlins *et al.*, 2005). Sachant que le risque de transmission de la dengue atteint un pic pendant les saisons humides annuelles, les programmes de contrôle du vecteur devraient cibler ces périodes afin de réduire les charges pathologiques. L'incidence de maladies diarrhéiques est liée à la température annuelle moyenne (Singh *et al.*, 2001) [GT II 8.2, 8.4], et inversement

proportionnelle à la disponibilité en eau dans le Pacifique (Singh *et al.*, 2001). De ce fait, l'augmentation des températures et la diminution de la disponibilité en eau dues au changement climatique peuvent augmenter les charges des maladies diarrhéiques et d'autres maladies infectieuses dans certains petits États insulaires. [GT II 16.4.5]

### 5.8.2.4 Agriculture

Les incidences prévues du changement climatique incluent des périodes prolongées de sécheresse, et par ailleurs, une perte de fertilité et une dégradation du sol du fait de précipitations accrues; ces deux phénomènes auront des incidences négatives sur l'agriculture et la sécurité alimentaire. Dans son étude sur les implications économiques et sociales du changement climatique et de la variabilité du climat, pour quelques îles sélectionnées du Pacifique, la Banque mondiale (2000) a mis en évidence que, en l'absence d'adaptation, une île haute telle que Viti Levu (Fidji) pourrait subir des dommages de 23 à 52 millions de dollars des États-Unis par an d'ici 2050 (l'équivalent de 2 à 3 % du PIB de l'archipel en 2002), tandis qu'un groupe d'îles basses telles que Tarawa (Kiribati) pourrait subir des dommages de plus de 8 à 16 millions de dollars des États-Unis par an (l'équivalent de 17 à 18 % du PIB de l'archipel en 2002) selon les scénarios A2 et B2 du SRES. Dans un grand nombre d'îles des Caraïbes, la dépendance vis-à-vis des importations agricoles, qui incluent elles-mêmes l'eau qui sert à la production dans les pays d'origine, constitue jusqu'à 50 % des approvisionnements alimentaires. [GT II 16.4.3]

### 5.8.2.5 Biodiversité

Burke *et al.* (2002) et Burke et Maidens (2004) indiquent que près de 50 % des récifs du sud-est de l'Asie et 45 % dans les Caraïbes se trouvent dans la catégorie de risque élevé, voire de risque très élevé (voir également Graham *et al.*, 2006). Il existe cependant des différences locales et régionales importantes du point de vue de l'échelle et du type de menace pesant sur les récifs de corail dans des situations tant continentales que de petites îles. [GT II 16.4.4]

Les écosystèmes terrestres des îles plus grandes et les écosystèmes côtiers de la plupart des îles ont subi une dégradation et une destruction accrues au cours des dernières décennies. Par exemple, l'analyse des études sur le récif de corail sur trois décennies a révélé que la couverture du corail dans les récifs des Caraïbes a diminué de 80 % en 30 ans seulement, principalement du fait de la pollution, de la sédimentation, des maladies marines et de la surexploitation de la pêche (Gardner *et al.*, 2003). Le ruissellement des régions terrestres, avec l'apport direct d'eau douce via des épisodes de chutes de pluie intenses, peut avoir des incidences importantes sur la qualité du récif et sa vulnérabilité aux maladies. [GT II 16.4.4]

### 5.8.3 Adaptation, vulnérabilité et viabilité

Le développement durable est souvent cité comme un objectif des stratégies de gestion pour les petites îles. Relativement peu d'études ont explicitement tenu compte de ce que signifie le développement durable pour les îles dans le contexte du changement climatique (Kerr, 2005). On sait depuis longtemps que les problèmes liés aux petites échelles et à l'isolement, aux économies spécialisées et aux forces opposées que sont la mondialisation et la localisation, peuvent signifier que le développement actuel des petites îles n'est pas durable sur le long terme. [GT II 16.6]

Le danger vient de la limitation des solutions d'adaptation aux incidences prévues du changement climatique, avec l'incertitude des incidences physiques potentielles liées au climat. Le tableau 5.9 résume les résultats de plusieurs études d'impact fondées sur des scénarios pour les environnements insulaires, depuis la période actuelle jusqu'en 2100 (car certaines incidences se produisent déjà). Il fournit le contexte pour d'autres incidences climatiques potentielles qui pourraient aggraver les stress hydriques. Des seuils peuvent être déterminés par des processus sociaux et environnementaux. De plus, le défi consiste à comprendre les stratégies d'adaptation qui ont été adoptées dans le passé, ainsi que leurs avantages et leurs limites pour une planification et une mise en œuvre futures. [GT II 16.5]

Alors que des progrès considérables ont été réalisés dans les projections régionales du niveau de la mer depuis le troisième Rapport d'évaluation, ces projections n'ont pas été pleinement utilisées dans les petites îles, du fait de la grande incertitude liée à leurs manifestations locales, à l'inverse des projections mondiales. Des projections fiables et crédibles fondées sur des résultats dont la résolution est plus fine, ainsi que des données locales sont nécessaires pour le développement de scénarios fiables du changement climatique pour les petites îles. Ces approches pourraient mener à de meilleures évaluations de la vulnérabilité et à l'identification de solutions d'adaptation plus appropriées

à l'échelle des îles et aux échelles de temps des incidences climatiques. [GT II 16.7.1]

Des études de vulnérabilité menées sur de petites îles sélectionnées (Nurse *et al.*, 2001) montrent que les coûts des infrastructures et de la protection des établissements humains représentent une partie significative du PIB, souvent supérieure aux moyens financiers de la plupart des petits États insulaires, problème qui n'est pas toujours partagé par les îles des pays continentaux. Des études plus récentes ont identifié les principaux domaines d'adaptation, y compris les ressources en eau et la gestion des bassins versants, la conservation des récifs, la gestion agricole et forestière, la conservation de la biodiversité, la sécurité énergétique, le développement accru de l'énergie renouvelable et la consommation d'énergie optimisée. Un cadre tenant compte de la vulnérabilité présente et à venir de la communauté et qui implique des méthodologies qui intègrent la climatologie, les sciences sociales et la communication, pourrait être une base sur laquelle asseoir les capacités d'adaptation. [GT II encadré 16.7] Cette approche nécessite que les membres des communautés identifient les conditions climatiques qui leur correspondent et qu'ils évaluent les stratégies adaptatives présentes et potentielles. Une telle méthodologie a été testée au Samoa et les résultats concernent un village (Saolufata: voir Sutherland *et al.*, 2005). Dans ce cas, les habitants ont identifié plusieurs mesures adaptatives, notamment la construction d'un ouvrage longitudinal, d'un système d'écoulement des eaux et de citernes d'eau, l'interdiction de couper les arbres, des relocalisations et la rénovation des infrastructures existantes. [GT II 16.5]

Le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC a identifié plusieurs zones clés et des lacunes qui sont sous-représentées dans la recherche contemporaine concernant les impacts du changement climatique sur les petites îles, [GT II 16.7] à savoir:

- Le rôle des écosystèmes côtiers tels que les mangroves, les récifs de corail et les plages dans la fourniture de défenses naturelles contre l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes;
- L'établissement de la réponse des écosystèmes terrestres des hauts versants et de l'intérieur des terres aux changements de la température moyenne et des précipitations, ainsi que des extrêmes de température et de précipitations;
- L'évaluation de la manière dont l'agriculture, la sylviculture et les pêcheries commerciales, ainsi que l'agriculture de subsistance, la pêche artisanale et la sécurité alimentaire seront touchées par la combinaison du changement climatique et des forces non associées au climat;
- L'approfondissement des connaissances sur les maladies sensibles au climat dans les petites îles via la

recherche nationale et régionale, non seulement pour les maladies à vecteur mais également pour les maladies cutanées, respiratoires et d'origine hydrique;

- L'identification des systèmes et des secteurs les plus vulnérables, par type d'îles, compte tenu de la diversité des types d'îles et de leurs emplacements.

À la différence des autres régions étudiées dans la présente évaluation, il manque également des scénarios démographiques et socioéconomiques fiables, ainsi que des

projections pour les petites îles. Le constat est que des changements futurs dans les conditions socioéconomiques des petites îles n'ont pas été suffisamment présentés dans les évaluations existantes. Par exemple, en l'absence d'adaptation ou d'atténuation, les impacts de l'élévation du niveau de la mer, des tempêtes plus intenses et d'autres changements climatiques [GT II 6.3.2] seront substantiels, ce qui laisse à supposer que certaines îles et régions de faible altitude pourront devenir invivables à l'horizon 2100. [GT II 16.5]

