



# INCIDENCES DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT DANS LES RÉGIONS : ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ



OMM  
GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL  
SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT



# Incidences de l'évolution du climat dans les régions :

## Evaluation de la vulnérabilité AFRIQUE

M.C. ZINYOWERA (ZIMBABWE), B.P. JALLOW (GAMBIE),  
R. SHAKESPEARE MAYA (ZIMBABWE), H.W.O. OKOTH-OGENDO (KENYA)

Principaux auteurs :

**L.F. Awosika**  
*Nigéria*

**E.S. Diop**  
*Sénégal*

**T.E. Downing**  
*Royaume-Uni*

**M. El-Raey**  
*Egypte*

**D. Le Sueur**  
*Afrique du Sud*

**C.H.D. Magadza**  
*Zimbabwe*

**S. Touré**  
*Côte d'Ivoire*

**C. Vogel**  
*Afrique du Sud*

Collaborateurs :

**E.L. Edroma**  
*Ouganda*

**A. Joubert**  
*Afrique du Sud*

**W. Marume**  
*Zimbabwe*

**S.L. Uganai**  
*Zimbabwe*

**D. Yates**  
*Etats-Unis d'Amérique*

#### NOTE

Cette publication est la traduction du chapitre 2 — Afrique du Rapport spécial du Groupe de travail II du GIEC : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : évaluation de la vulnérabilité.

Cette traduction nous a été aimablement fournie par le Gouvernement du Canada.

Le rapport complet a été publié en anglais, les références aux annexes concernent le rapport spécial complet. Le chapitre 6 du rapport spécial complet concernant l'Amérique latine est disponible en espagnol.

SECRETARIAT DU GIEC

# Table des matières

---

Avant-propos au Rapport spécial du Groupe de travail II du GIEC .....	v
Résumé .....	vii
<b>1. Introduction</b> .....	1
1.1 Géographie physique .....	1
1.2 Population et ressources naturelles .....	1
<b>2. Climat régional</b> .....	3
2.1 Tendances et projections climatiques pour l'Afrique .....	4
<b>3. Vulnérabilités et effets possibles pour les principaux secteurs</b> .....	5
3.1 Ecosystèmes terrestres .....	5
3.1.1 Introduction .....	5
3.1.2 Facteurs climatiques .....	6
3.1.3 Types de sol, croissance des plantes et dégradation du sol .....	8
3.1.4 Ecosystèmes forestiers .....	9
3.1.5 Parcours naturels .....	11
3.1.6 Déserts .....	11
3.1.7 Régions montagneuses .....	12
3.1.8 Adaptation et vulnérabilité .....	12
3.2 Hydrologie et ressources en eau .....	14
3.2.1 Systèmes hydrologiques .....	14
3.2.2 Approvisionnement en eau .....	17
3.2.3 Adaptation et vulnérabilité .....	20
3.3 Agriculture et sécurité alimentaire .....	20
3.3.1 Vulnérabilité socio-économique .....	20
3.3.2 Cultures vivrières et production de fibres .....	21
3.3.3 Pêcheries marines et fluviales .....	31
3.3.4 Foresterie de production .....	33
3.4 Zones côtières de l'Afrique .....	33
3.4.1 Vulnérabilité des zones côtières aux effets des changements climatiques .....	34
3.4.2 Stratégies et mesures d'adaptation dans la zone côtière .....	35
3.5 Peuplements humains, énergie, industrie et transports .....	37
3.5.1 Peuplements humains .....	37
3.5.2 Énergie .....	37
3.5.3 Industrie .....	39
3.5.4 Transports .....	39
3.5.5 Mesures d'atténuation et d'adaptation à envisager .....	40
3.6 Faune, tourisme et loisirs .....	41
3.7 Santé humaine .....	42
3.7.1 Vulnérabilité et adaptation .....	43
<b>4. Évaluation intégrée des effets potentiels</b> .....	47
<b>5. Principaux impératifs futurs pour l'Afrique</b> .....	47
Références .....	48

# Avant-propos au Rapport spécial du Groupe de travail II du GIEC

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), créé conjointement par l'Organisation météorologique mondiale et par le Programme des Nations Unies pour l'environnement en 1988, a pour fonction d'évaluer les textes scientifiques et techniques portant sur l'évolution du climat, les incidences potentielles de cette évolution, les possibilités d'adaptation aux changements attendus et les moyens d'atténuer leurs effets. Depuis sa création, le GIEC a publié une série de rapports d'évaluation, de rapports spéciaux, de documents techniques, de textes de méthodologies et d'autres documents qui sont devenus des ouvrages de référence largement consultés par les décideurs, les scientifiques et les experts de divers domaines.

Le Groupe de travail II du GIEC s'est inspiré de sa contribution passée au Deuxième Rapport d'évaluation (SAR) et a intégré des informations plus récentes, disponibles depuis le milieu de 1995, pour produire le présent rapport spécial. Ce document a été rédigé à la demande de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques et techniques (OSAST), de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il examine une question importante soulevée par la Conférence des Parties à la CCNUCC, à savoir le degré de vulnérabilité du milieu naturel et des conditions d'existence de l'homme face aux effets de l'évolution du climat. Il constitue une source commune d'informations sur les coûts et les avantages éventuels des changements climatiques (avec une évaluation des incertitudes actuelles) qui devrait aider la Conférence des Parties à déterminer l'opportunité des mesures d'adaptation et d'atténuation possibles. On trouvera dans ce rapport une analyse de la vulnérabilité de dix régions, qui englobent l'ensemble des terres émergées de la planète ainsi que les eaux côtières qui les bordent, soit l'Afrique, l'Asie occidentale aride (qui comprend le Moyen-Orient), l'Australasie, l'Europe, l'Amérique latine, l'Amérique du Nord, les régions polaires (Arctique et Antarctique), les petits Etats insulaires, l'Asie tempérée et l'Asie tropicale. Plusieurs annexes fournissent des informations sur les

observations et les prévisions du climat, les projections de la répartition de la végétation et les tendances socio-économiques.

Comme toujours au sein du GIEC, la production de ce rapport a reposé sur l'enthousiasme et sur la collaboration de nombreux scientifiques et autres experts du monde entier. Ces personnes ont accordé généreusement leur temps, allant souvent bien au-delà de ce qu'exigeait leur devoir. Nous sommes remplis d'admiration et de gratitude pour leur dévouement envers les travaux du GIEC. Par ailleurs, nous sommes heureux de souligner que les efforts constants du GIEC ont permis d'élargir la participation de scientifiques et d'experts des pays en développement et des nations dont l'économie est en transition. L'approche régionale de la présente évaluation rendait leur collaboration d'autant plus essentielle à la réussite de cette entreprise. Nous tenons à remercier également les nombreux gouvernements qui ont apporté leur soutien à ces scientifiques et experts, notamment dans les pays en développement et à économie de transition.

Nous exprimons notre gratitude aux personnes suivantes, qui ont permis à un nouveau rapport du GIEC de voir le jour :

- le professeur B. Bolin, président du GIEC
- MM. R.T. Watson (Etats-Unis d'Amérique) et M.C. Zinyowera (Zimbabwe), coprésidents du Groupe de travail II
- MM. Beniston (Suisse), O. Canziani (Argentine) et J. Friaa (Tunisie), Mme M. Perdomo (Venezuela), MM.S.K. Sharma (Inde), et H. Trukamoto (Japon), et le professeur P. Vellinga (Pays-Bas), vice-présidents du Groupe de travail II
- M. R.H. Moss, chef du service d'appui technique du Groupe de travail II, M. D.J. Dokken, administrateur du projet, et les autres membres du service d'appui technique, dont Mmes S. MacCracken, L. Van Wie McGrory et F. Ormond
- M.N. Sundararaman, secrétaire du GIEC, et son personnel, Mmes R. Bourgeois, C. Etori et C. Tanikie.

**G.O.P. Obasi**

Secrétaire général  
Organisation météorologique mondiale

**Mme E. Dowdeswell**

Directeur exécutif  
Programme des Nations Unies pour le développement

# Résumé

---

Plusieurs régimes climatiques caractérisent le continent africain; les plus courants sont le climat tropical humide, le climat tropical sec et le climat tantôt humide, tantôt sec. Bon nombre de pays africains sont sujets à des sécheresses périodiques; quelques-unes d'entre elles, notamment dans le sud-est de l'Afrique, sont reliées au phénomène *El Niño*/Oscillation australe (ENOA). En raison de la détérioration du commerce, de l'inadaptation des politiques, de la vitesse de la croissance démographique et du manque d'investissements importants, conjugués à une grande variabilité du climat, il a été difficile pour plusieurs pays d'adopter des modes de vie permettant de réduire la pression exercée sur les ressources naturelles. Comme le financement accordé n'est pas suffisant, l'Afrique est le continent le plus vulnérable aux effets des changements prévus parce que la pauvreté généralisée limite les capacités d'adaptation.

*Ecosystèmes* : En Afrique, aujourd'hui, les pressions démographiques et les systèmes d'utilisation des terres mettent en danger les forêts tropicales et les parcours naturels. Les effets généralement apparents de ce danger comprennent la perte de biodiversité, la détérioration rapide de la couverture terrestre et la diminution de la disponibilité de l'eau en raison de la destruction des bassins versants et des aquifères. Les changements climatiques interagiront avec ces profonds changements dans l'environnement, ce qui aggravera davantage la situation. Une augmentation constante de la température ambiante moyenne au-delà de 1 °C modifierait considérablement le couvert forestier et celui des parcours naturels, la distribution, la composition et le comportement migratoire des espèces ainsi que la distribution des biomes. Bon nombre d'organismes vivant dans les déserts ont déjà presque atteint leur limite de tolérance, et quelques-uns seront peut-être incapables de s'adapter à un climat plus chaud. Les sous-régions arides ou semi-arides et les herbages de l'est et du sud de l'Afrique de même que les régions déjà menacées par la dégradation du sol et la désertification sont particulièrement vulnérables. Si les précipitations augmentaient, comme le prédisent certains modèles de circulation générale (MCG), dans les hautes terres de l'est de l'Afrique et dans le centre de l'Afrique équatoriale, les terres marginales deviendraient plus productives que maintenant. Toutefois, ces effets seraient probablement annulés par la pression démographique exercée sur les forêts et les parcours naturels marginaux. Les mesures d'adaptation à prendre consistent à réduire la déforestation, à améliorer la gestion des parcours naturels, à agrandir les aires protégées et à aménager les forêts de façon durable.

*Hydrologie et ressources en eau* : Il existe dans le monde 19 pays dont on reconnaît actuellement qu'ils subissent un stress hydrique; l'Afrique en compte plus que partout ailleurs, et leur nombre augmentera probablement, indépendamment des changements climatiques, en raison de l'augmentation de la demande due à la croissance de la population, de la dégradation des bassins versants causée par le changement dans l'utilisation des terres et de l'envasement des bassins hydrographiques. La diminution des précipitations prévue par certains MCG pour le Sahel et le sud de l'Afrique pourrait, si elle était accompagnée d'une grande variabilité d'une année à l'autre, déséquilibrer le bilan

hydrologique du continent et perturber diverses activités socio-économiques qui dépendent de l'eau. La variabilité des conditions climatiques peut rendre plus difficile la gestion des ressources hydriques à la fois dans et entre les pays. Une baisse de niveau dans les réservoirs des barrages et les cours d'eau pourrait amoindrir la qualité de l'eau en augmentant les concentrations d'eaux d'égout et des effluents industriels, ce qui accroîtrait la possibilité d'épidémies et réduirait la qualité et la quantité de l'eau douce utilisée à des fins domestiques. Les mesures d'adaptation à prendre comprennent la récupération de l'eau, la gestion du débit sortant des barrages et l'utilisation plus efficace de l'eau.

*Agriculture et sécurité alimentaire* : L'agriculture est le principal pilier économique de la plupart des pays africains, mis à part ceux qui exportent du pétrole; elle contribue dans une proportion de 20 % à 30 % au produit intérieur brut (PIB) des pays au sud du Sahara et représente 55 % de la valeur totale des exportations africaines. Presque partout en Afrique, l'exploitation agricole est entièrement tributaire de la qualité de la saison des pluies, ce qui rend ce continent particulièrement vulnérable aux changements climatiques. La fréquence accrue des sécheresses pourrait considérablement amoindrir les disponibilités alimentaires, comme ce fut le cas dans la corne et le sud de l'Afrique pendant les années 80 et 90. Une élévation des températures hivernales moyennes nuirait aussi à la production du blé d'hiver et des fruits qui exigent la température froide de l'hiver. Toutefois, dans les régions subtropicales, le réchauffement du climat hivernal réduirait la fréquence des périodes de gel, ce qui permettrait de cultiver, à une altitude plus grande qu'il n'est possible de le faire actuellement, des produits horticoles vulnérables au gel. Il se peut que la productivité des pêcheries d'eau douce augmente, mais la composition des espèces de poisson pourrait être modifiée. Des changements dans la dynamique des océans pourraient donner lieu à une modification du comportement migratoire du poisson et peut-être à une diminution des prises, notamment dans les pêcheries artisanales côtières.

*Systèmes côtiers* : Plusieurs zones côtières de l'Afrique, dont bon nombre subissent déjà un stress dû à la pression démographique et aux utilisations conflictuelles, seraient détériorées en raison de l'élévation du niveau de la mer causée par les changements climatiques. Le littoral des pays côtiers de l'ouest et du centre de l'Afrique (par exemple, le Sénégal, la Gambie, le Sierra Leone, le Nigéria, le Cameroun, le Gabon et l'Angola) comprend des lagunes situées dans des dépressions de terrain qui sont susceptibles d'être érodées et donc mises en danger par l'élévation du niveau de la mer, notamment parce que, dans la plupart de ces pays, d'importantes villes sont en bordure de la mer et prennent rapidement de l'expansion. La côte ouest est souvent frappée par des raz de marée et risque actuellement d'être érodée, inondée et touchée par de violentes tempêtes. La zone côtière de l'est de l'Afrique sera également menacée, bien qu'elle connaisse des conditions calmes pendant la plus grande partie de l'année. Toutefois, l'élévation du niveau de la mer et la variation du climat pourraient réduire l'effet tampon des récifs et des pâtés de corail sur la côte est, ce qui accroîtrait la possibilité d'érosion. Un certain nombre d'études portent à croire qu'une bonne partie

du nord du delta du Nil disparaîtra sous l'effet conjugué des inondations et de l'érosion et qu'il s'ensuivra une perte de terres agricoles et de régions urbaines. Il existe des mesures d'adaptation pour les zones côtières de l'Afrique, mais elles seraient très coûteuses pour bien des pays parce qu'elles diminueraient leur PIB. Ces mesures pourraient comprendre la construction d'ouvrages longitudinaux ainsi que le déménagement de peuplements humains et d'autres installations socio-économiques vulnérables.

*Peuplements humains, industrie et transports* : Les principaux problèmes auxquels les populations africaines devront probablement faire face seront causés par des phénomènes climatiques exceptionnels comme les inondations (et les glissements de terrain qui s'ensuivront dans certaines régions), les vents violents, les sécheresses et les tsunamis. Les personnes vivant dans les régions marginales seront peut-être forcées d'émigrer dans les zones urbaines (où l'infrastructure est déjà en voie d'atteindre sa capacité en raison de la pression démographique) si les nouvelles conditions climatiques rendent les terres marginales moins productives. Les changements climatiques pourraient aggraver les tendances actuelles de l'appauvrissement des ressources bioénergétiques. La réduction du débit des cours d'eau pourrait occasionner une diminution de la production d'hydroélectricité, ce qui nuirait à la productivité industrielle et entraînerait le déménagement de certaines usines, dont le coût serait élevé. Si les conditions climatiques changeaient, la gestion de la pollution, du système sanitaire, de l'élimination des déchets, de l'approvisionnement en eau et de la santé publique ainsi que l'installation d'une infrastructure convenable dans les zones urbaines pourraient devenir plus difficiles et plus coûteuses.

*Santé humaine* : L'Afrique sera probablement en danger surtout en raison de la fréquence accrue des maladies à transmission vectorielle et de

l'aggravation de la situation alimentaire. Le réchauffement du climat aura peut-être pour effet la propagation de la malaria dans de nouvelles régions; la modification de la configuration de la température et des précipitations pourrait aussi accroître l'incidence de la fièvre jaune, de la dengue, de l'onchocercose et de la trypanosomiose. L'accroissement de la morbidité et de la mortalité dans les sous-régions où les maladies à transmission vectorielle augmentent à la suite des changements climatiques aurait des conséquences économiques d'une portée considérable. En raison de la piètre situation financière de la plupart des pays africains, des efforts devront être déployés à l'échelle mondiale pour s'attaquer au problème que posent les effets potentiels sur la santé.

*Tourisme et faune* : Le tourisme, l'une des industries de l'Afrique qui croissent le plus rapidement, compte sur la faune, les réserves naturelles, les stations estivales côtières et un approvisionnement considérable en eau pour les loisirs. Les sécheresses ou la diminution des précipitations prévues au Sahel ainsi que dans l'est et le sud de l'Afrique dévasteraient la faune et rendraient moins intéressantes certaines réserves naturelles, ce qui réduirait les revenus provenant des énormes investissements actuels dans le tourisme.

*Conclusions* : Le continent africain est particulièrement vulnérable aux effets des changements climatiques en raison de facteurs comme la généralisation de la pauvreté, la périodicité des sécheresses, la répartition inéquitable des terres et la dépendance excessive vis-à-vis de l'agriculture sans irrigation. Bien qu'en théorie il existe des mesures d'adaptation, y compris des stratégies traditionnelles visant le même but, en pratique, il se peut que certains pays soient loin de posséder les moyens économiques nécessaires pour se doter de ressources humaines et financières ainsi que d'une infrastructure leur permettant d'intervenir rapidement.

---

## 1. Introduction

Le présent chapitre traite des effets potentiels des changements climatiques sur les écosystèmes, les ressources naturelles et divers secteurs socio-économiques de l'Afrique continentale. Dans la mesure où les publications permettent de le faire, il décrit les fonctions et l'état actuel d'un certain nombre d'écosystèmes et de secteurs primaires importants, les réactions possibles de ces systèmes aux changements climatiques, les diverses mesures d'adaptation aux changements prévus ainsi que la vulnérabilité de chaque système ou secteur compte tenu de ces mesures et des obstacles à leur mise en œuvre. D'après Downing (1992, 1996), la vulnérabilité est une mesure globale du bien-être humain qui inclut l'exposition environnementale, sociale, économique et politique à diverses perturbations ou menaces pouvant être dommageables. La vulnérabilité varie de façon spatio-temporelle pour différentes collectivités, même si elles peuvent être confrontées au même risque (Eele, 1996). Les stratégies applicables pour contrer les futurs changements climatiques doivent donc être fondées sur une compréhension totale de la nature et des causes complexes de la vulnérabilité sociale actuelle, acquise par la connaissance de la vulnérabilité à la variabilité climatique d'une saison et d'une année à l'autre.

Bien que l'Afrique, l'une des principales régions du monde, ait le moins contribué aux changements climatiques possibles en raison de sa faible consommation d'énergie fossile par habitant et donc de ses faibles émissions de gaz à effet de serre, c'est le continent le plus vulnérable à ces changements parce que la pauvreté, qui y est généralisée, restreint ses capacités d'adaptation. En fin de compte, les répercussions socio-économiques des changements climatiques dépendront de la possibilité relative de récupération et de la capacité d'adaptation des différents groupes sociaux. En général, le secteur commercial et les ménages à revenu élevé dans les collectivités sont mieux préparés à s'adapter convenablement et rapidement. La capacité d'adaptation des gouvernements et des ménages et les moyens qu'ils prendront pour l'acquiescer au cours des cinquante prochaines années environ seront très importants. Cette capacité est déterminée par les dirigeants politiques. Si la région réussit à réaliser une croissance économique raisonnable, il est probable qu'elle s'adaptera aux changements climatiques beaucoup plus qu'en période de stagnation (Hulme, 1996b).

### 1.1 Géographie physique

La superficie totale de l'Afrique est de 30 244 000 km<sup>2</sup>. Les pays dont il est question dans le présent chapitre sont énumérés dans l'encadré 1, et les données socio-économiques qui s'y rapportent figurent à l'annexe D du rapport spécial du GIEC.

Du point de vue topographique, l'Afrique comprend une série de plateaux, plus élevés à l'est et diminuant graduellement vers l'ouest. L'élévation générale est adoucie par de grands bassins peu profonds et leurs réseaux hydrographiques, par la profonde entaille de la vallée du Great Rift, qui s'étend sur 6400 km, ainsi que par des volcans, des blocs faillés et des inselbergs souvent magnifiques. La figure 1 montre les capitales, d'autres villes importantes et les élévations. Le point culminant est le mont Kilimanjaro (5894 m), et le plus bas est la dépression de Qattara, à 132 m au-dessous du niveau de la mer. Les vastes plateaux africains sont entrecoupés seulement par quelques chaînes de montagnes assez basses, dont les plus proéminentes sont les massifs de l'Atlas, de

l'Ahaggar, du Cameroun et du Tibesti, ceux de l'Éthiopie et de l'est de l'Afrique ainsi que celui du Drakensberg. Dans l'est de l'Afrique, on retrouve (en plus du Kilimanjaro) le mont Kenya (5199 m), le massif du Ruwenzori (5120 m) et le mont Elgon (4321 m) (Pritchard, 1985).

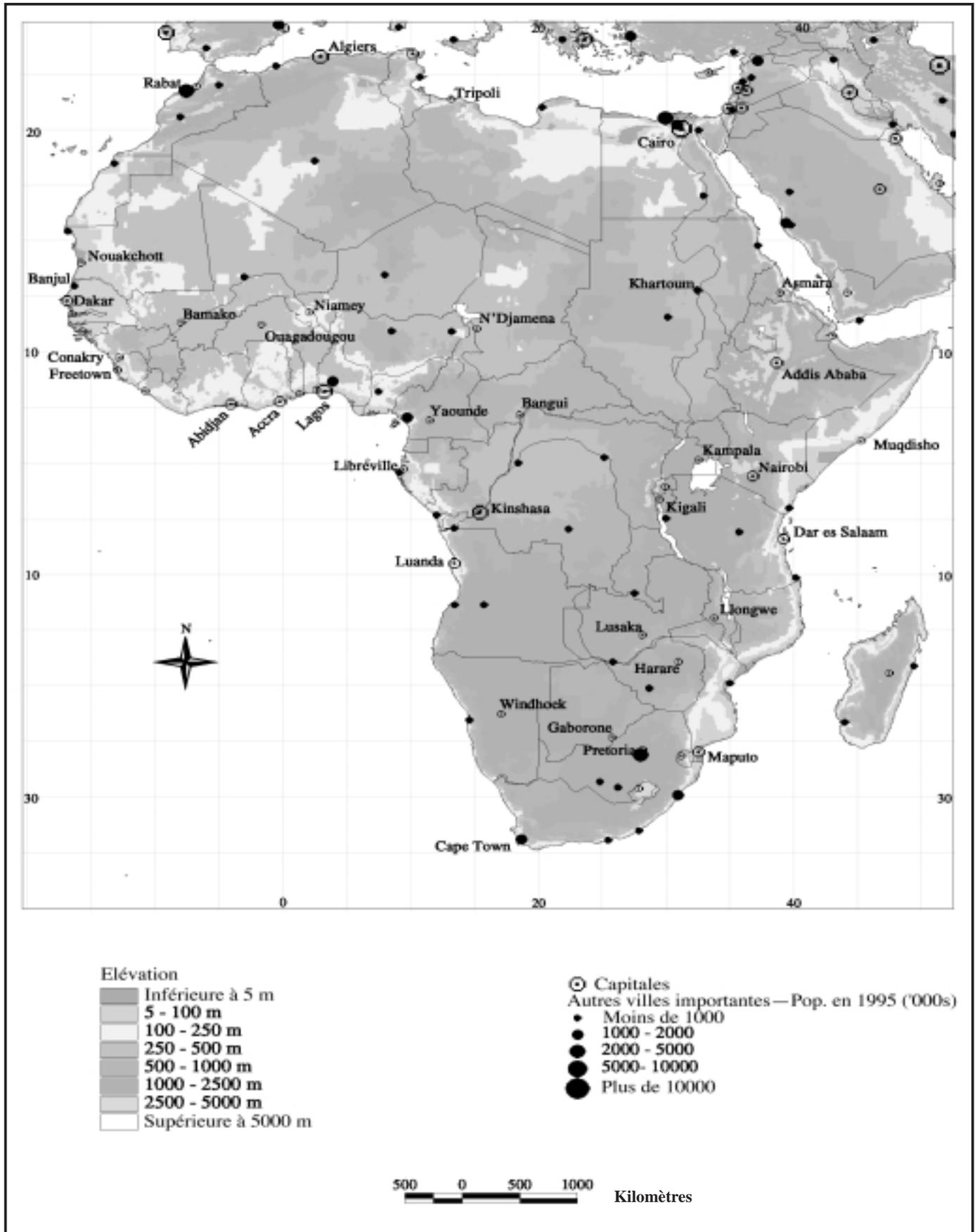
Le continent africain comprend une riche mosaïque de systèmes écologiques. Tous ces écosystèmes renferment une multitude de ressources importantes du point de vue économique et biologique, que ce soit des espèces individuelles ou des habitats productifs (Huq *et al.*, 1996). Un quart de l'Afrique est un désert hyperaride, un tiers se trouve dans la zone climatique humide et le reste du continent est une terre aride comprenant des régions arides, semi-arides et subhumides sèches (PNUE, 1992). Environ 400 millions de personnes, soit les deux tiers de la population totale du continent, habitent ces terres arides où les sécheresses périodiques sont depuis longtemps une caractéristique permanente de la vie. Toutefois, au cours des 30 dernières années environ, ces terres arides ont connu des sécheresses exceptionnellement graves ou prolongées qui ont considérablement nui à l'agriculture et à la faune et occasionné de nombreux cas de mortalité et de grave sous-alimentation. Dans certaines régions, ces sécheresses ont été accompagnées d'une désertification, bien que les processus menant à cette transformation soient beaucoup plus variés que ceux de nature climatique seulement. Actuellement, 36 pays africains sont touchés par une sécheresse périodique et quelque peu désertifiés (PNUE, 1992). C'est dans la ceinture soudano-sahélienne et dans le sud de l'Afrique que le risque de sécheresse est le plus élevé (Nicholson *et al.*, 1988).

### 1.2 Population et ressources naturelles

L'Afrique compte approximativement 650 millions d'habitants (Banque mondiale, 1995b). Environ deux tiers de la population vivent

#### Encadré 1. Les pays de l'Afrique

Algérie	Libye
Angola	Madagascar
Bénin	Malawi
Botswana	Mali
Burkina-Faso	Mauritanie
Burundi	Maroc
Cameroun	Mozambique
République centrafricaine	Namibie
Tchad	Niger
Congo	Nigéria
Côte d'Ivoire	Réunion
République démocratique du Congo (RDC) (ex-Zaire)	Rwanda
Djibouti	Sénégal
Égypte	Sierra Leone
Guinée équatoriale	Somalie
Erythrée	Afrique du Sud
Éthiopie	Soudan
Gabon	Swaziland
Ghana	Tanzanie
Guinée	Gambie
Guinée-Bissau	Togo
Kenya	Tunisie
Lesotho	Ouganda
Libéria	Zambie
	Zimbabwe



**Figure 1 :** Le continent africain [préparation cartographique par le module responsable du Système d'information géographique (SIG) au Département de l'environnement de la Banque mondiale; une carte en couleur figure à l'annexe E du rapport spécial].

en milieu rural et tirent de l'agriculture leur principal revenu. Dans certains pays, comme le Burkina-Faso, l'Éthiopie, le Malawi et l'Ouganda, les ruraux représentent plus de 80 % de la population totale. L'agriculture est la principale activité économique de ces pays, et bien qu'en moyenne elle contribue au PIB dans une proportion d'environ 20 % à 30 % seulement, elle fournit la plus grande partie des produits destinés à l'exportation (Cleaver et Schreiber, 1994).

Les terres cultivées par habitant varient considérablement en raison de la répartition inégale de la population (par exemple, la densité démographique est faible dans le bassin du Congo tandis qu'elle est élevée dans les hautes terres de l'est de l'Afrique), parce que la technologie est peu avancée et que de vastes étendues sont impropres à l'exploitation agricole. Comme l'agriculture itinérante est une nécessité, il faut beaucoup de terres labourables. En raison du manque de bonnes terres, de la dégradation du sol, des faibles moyens de production et de l'état peu avancé de la technologie, les cultures vivrières sont de plus en plus déficitaires. Compte tenu de la prédominance de l'agriculture de subsistance sans irrigation et, dans tout le sud de l'Afrique, de la dépendance excessive à la culture du maïs (qui exige de l'eau), la sécurité alimentaire dans la plus grande partie du continent est inextricablement liée à la qualité de chaque saison des pluies. Dans les régions arides, les cultures agricoles et la production animale sont extrêmement sensibles à la variabilité saisonnière des chutes de pluie et ont donc été très volatiles au cours des dernières années. Toutefois, les effets de la sécheresse sont loin de toucher seulement les cultures agricoles et la production animale, en partie parce que ces deux secteurs jouent un rôle important dans l'économie globale de bon nombre d'États africains. Les cultures agricoles et la production animale procurent beaucoup d'emplois et contribuent de façon non négligeable au PIB et aux recettes d'exportation. Elles constituent aussi d'importantes sources de matières premières pour les industries comme celles du textile, de la transformation des produits alimentaires et du raffinage du pétrole. Par contre, ce sont d'importants marchés pour d'autres industries, comme celles de la machinerie, des aliments pour animaux, des combustibles et des engrais (Gibberd *et al.*, 1996).

Des 30 pays les plus pauvres au monde, 22 sont africains (Banque mondiale, 1996). En 1993, le niveau de revenu moyen en Afrique au sud du Sahara était de US\$ 520 par habitant, et le taux de croissance moyen par habitant était négatif (-0,8 % par année de 1980 à 1993). Il est prévu que, d'ici l'an 2000, le nombre de pauvres en Afrique augmentera à environ 265 millions, soit plus de 40 % de la population du continent (Banque mondiale, 1990). En Afrique, la pauvreté est liée à l'environnement de diverses façons complexes, notamment dans les économies qui sont fondées sur l'exploitation des ressources naturelles. La dégradation de ces ressources réduit la productivité des personnes pauvres, qui comptent le plus sur elles, et rend les collectivités pauvres encore plus sensibles aux situations exceptionnelles (qu'elles soient d'origine météorologique, économique ou politique) (Banque mondiale, 1996). La pauvreté est exacerbée par un profil démographique qui continue d'indiquer un taux annuel de croissance de la population d'un peu moins de 3 %, le plus élevé au monde (IRM, 1994). La population de bon nombre de pays africains continuera donc de doubler tous les 20 à 30 ans pendant une bonne partie du XXI<sup>e</sup> siècle, mais il est possible que l'incidence élevée de maladies incurables, comme la malaria, le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) et l'hépatite B, modifie cette estimation.

## 2. Climat régional

L'Afrique est caractérisée par plusieurs régimes climatiques et zones écologiques. Toutes les parties du continent, à l'exception de la République de l'Afrique du Sud, du Lesotho et des pays méditerranéens au nord du Sahara, jouissent de climats tropicaux. Ces climats peuvent être divisés en trois zones climatiques distinctes : la zone tropicale humide, la zone tropicale sèche et la zone tantôt humide, tantôt sèche (Huq *et al.*, 1996).

Il existe plusieurs descriptions détaillées des climats africains, notamment celles de Thomson (1965) et de Griffiths (1972). Des études sur les précipitations en Afrique ont été réalisées par Newell *et al.* (1972), Kraus (1977), Klaus (1978), Tyson (1986) et Nicholson (1994b). Ces chercheurs s'entendent pour dire que les hauteurs de pluie maximales pendant l'été, dominantes dans la plus grande partie de l'Afrique, sont surtout contrôlées par la zone de convergence intertropicale (ZCIT).

Au-dessus du continent, la ZCIT suit généralement le cours saisonnier du soleil et oscille entre les zones périphériques du Sahara pendant l'été

### Encadré 2. Ressources naturelles, économie et environnement politique de l'Afrique

Les économies africaines ont relativement peu investi dans l'infrastructure et les biens d'équipement directement productifs; elles continuent donc de compter fortement sur le capital naturel (les ressources naturelles). Ce capital est en danger parce que la pauvreté et le taux élevé de croissance de la population entraînent souvent la dégradation du sol et la déforestation, ce qui occasionne une insécurité alimentaire de plus en plus grande et une perte de biodiversité. Ce scénario contribue à la migration dans des régions rurales qui sont souvent moins propices à l'expansion agricole et dans des régions urbaines où l'infrastructure physique, sociale et économique est insuffisante. Il contribue également à la croissance de la population en fournissant un encouragement aux familles nombreuses; le travail des nouveaux membres de la famille permet entre autres de faire face aux problèmes que pose la dépense de plus en plus grande de temps nécessaire pour aller chercher du combustible et de l'eau et défricher de nouvelles terres. Le problème de ce lien entre la population, l'agriculture et l'environnement s'aggrave d'autant plus que l'investissement dans le capital humain (le développement des ressources humaines) est faible, ce qui contraint souvent les particuliers à toujours compter uniquement sur une main-d'œuvre inexpérimentée et l'exploitation à court terme des ressources naturelles (la terre) pour survivre.

Bien que la jeunesse africaine représente le futur capital social, il faudra, pour assurer sa pleine productivité au cours de la prochaine décennie et des années qui suivront, investir considérablement dans l'éducation, la formation et le perfectionnement des compétences. Il faudra prêter une attention particulière à la création de capacités en technologie de l'information afin de mieux préparer les sociétés africaines à gérer efficacement et de façon durable les fragiles ressources du continent. En outre, les structures politiques de la région, qui déterminent la prise de décisions en matière d'affectation et de consommation des ressources, devront être stabilisées.

boréal et celles du nord du désert du Kalahari pendant l'été austral. Les zones de latitude de ces déserts arides et semi-arides constituent la ligne de démarcation entre les régions tropicales et subtropicales. Dans ces dernières, les précipitations sont modulées par des tempêtes à moyenne latitude qui peuvent se déplacer vers l'équateur en hiver. Ces configurations générales peuvent encore être modifiées par des éléments naturels, comme les lacs et les montagnes, et par les courants océaniques. Les régions du continent le plus près du pôle ont des influences extratropicales liées à des perturbations synoptiques aux latitudes moyennes, ce qui occasionne d'importantes précipitations en hiver (Griffiths, 1972).

En général, la température de l'air à la surface dans la plus grande partie de l'Afrique est très uniforme sur le plan spatial et saisonnier (Riehl, 1979). Toutefois, les régions les plus septentrionales et méridionales du continent connaissent des systèmes de fronts froids qui provoquent presque régulièrement des changements soudains dans les masses d'air. Les températures y sont plus variables en raison du long cycle annuel d'ensoleillement et de l'effet des masses d'air et des vents qui varient selon la saison. La figure 2 indique, pour les 100 dernières années, les tendances moyennes de la température établies pour l'Afrique continentale. Les hautes terres de l'est et du sud de l'Afrique sont beaucoup plus froides que les basses terres, et il existe des preuves selon lesquelles les récentes tendances au réchauffement dans ces régions montagneuses ont été exagérées (Hulme, 1996a).

En Afrique, la variabilité spatio-temporelle des précipitations est élevée (voir les figures 3 et 4). La hauteur annuelle moyenne des précipitations peut être aussi faible que 10 mm en plein cœur du Sahara et dépasser 2000 mm dans certaines parties de la région équatoriale et d'autres parties de l'ouest de l'Afrique (figure 4). Le gradient de hauteur des précipitations est le plus élevé à la périphérie sud du Sahara, dans la région connue sous le nom de Sahel, où la hauteur annuelle moyenne des précipitations varie de plus de 1000 mm sur une distance

d'environ 750 km. Comme ce gradient est abrupt, des changements relativement faibles dans la position de la ZCIT peuvent avoir d'importants effets sur les précipitations au Sahel; cette région est donc un indicateur sensible des changements climatiques en Afrique. Les coefficients de variabilité des précipitations en Afrique dépassent 200 % dans les déserts; ils sont d'environ 40 % dans la plupart des régions semi-arides et se situent entre 5 % et 20 % dans les régions les plus humides (figure 3).

La plupart des décideurs reconnaissent maintenant que la sécheresse est un élément normal du climat africain et que sa périodicité est inévitable. Les occurrences généralisées de grave sécheresse au cours des trois dernières décennies ont maintes fois mis en évidence la vulnérabilité des sociétés industrialisées et en développement à leurs ravages en Afrique. Bien que la variabilité du climat africain soit inévitable, la perte de vies humaines et la perturbation économique reliée à des fluctuations climatiques exceptionnelles peuvent être amoindries par des alertes rapides. Grâce aux récents progrès scientifiques qui ont permis de mieux comprendre le système climatique et aux percées technologiques en matière de capacité de prédiction à l'échelle saisonnière, il est possible de réduire la vulnérabilité des sociétés humaines en planifiant en fonction de variations autrefois imprévues par rapport aux conditions climatiques moyennes. Les capacités actuelles de prévision, même si elles sont loin d'être parfaites, donnent une meilleure idée du temps qu'il fera probablement au cours de la prochaine ou des deux prochaines saisons que si l'on présume simplement que les précipitations et la température seront normales (Bonkougou, 1996).

## 2.1 Tendances et projections climatiques pour l'Afrique

Les tendances de la température et des précipitations sont analysées à l'annexe A du rapport spécial. Les tendances des précipitations, notamment au cours des 30 dernières années environ, ont eu d'énormes

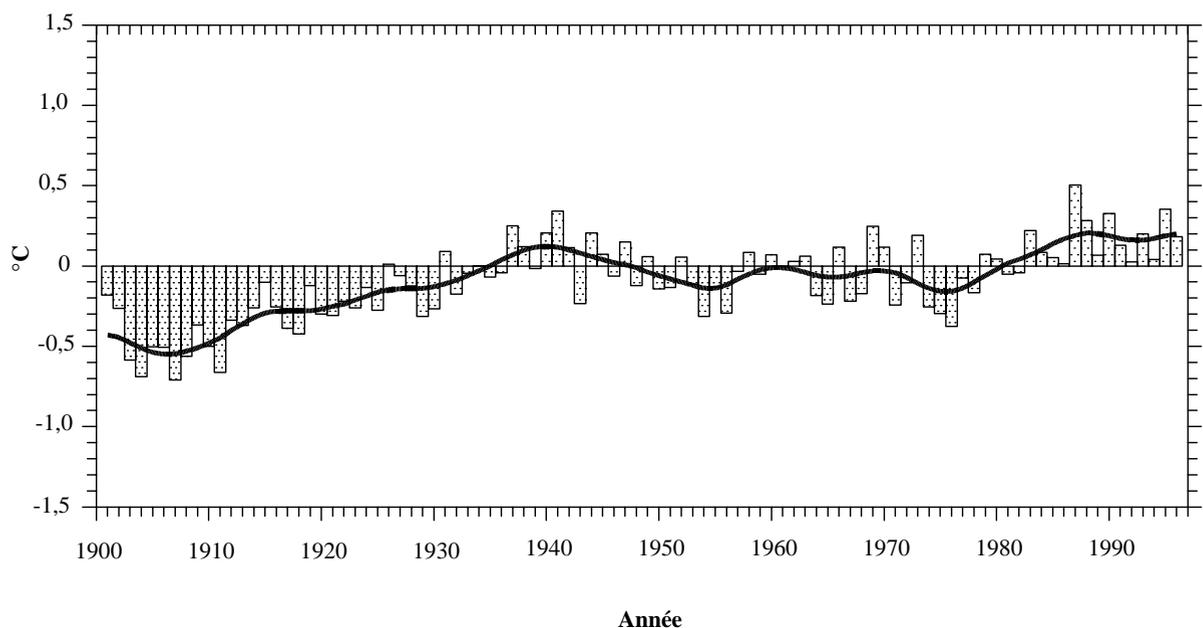
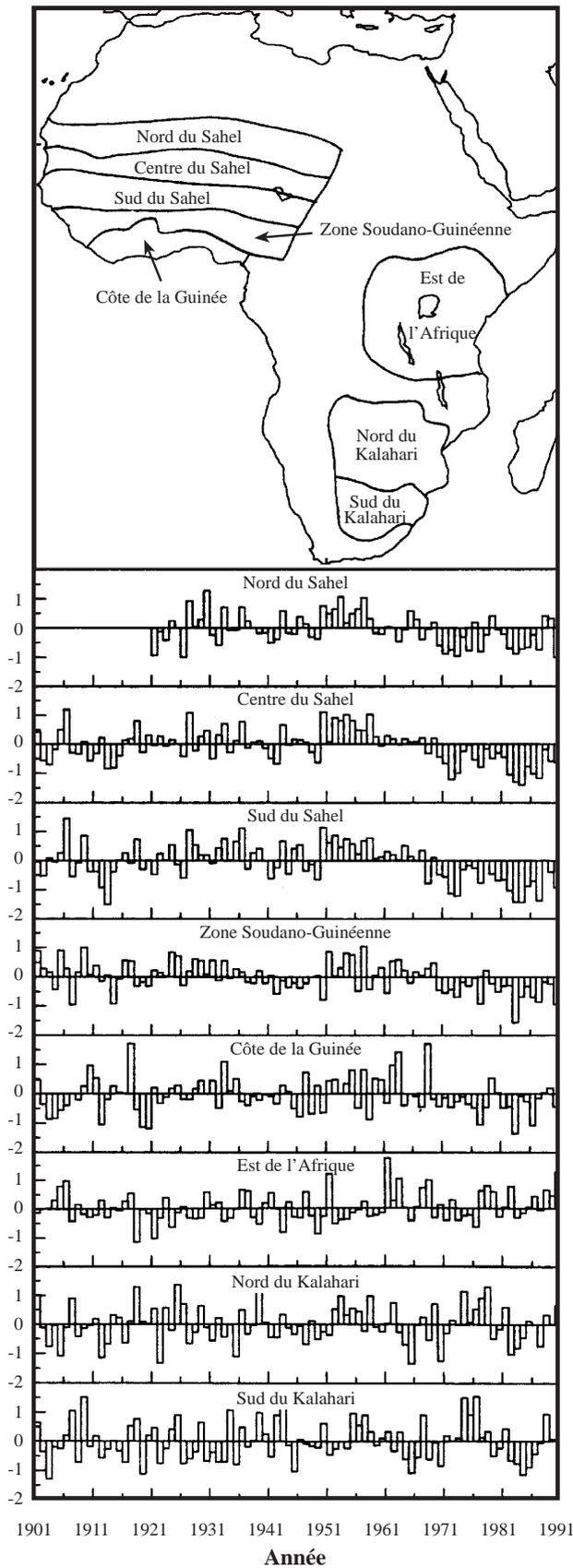


Figure 2 : Changements observés dans la température annuelle en Afrique (voir l'annexe A du rapport spécial).



**Figure 3 :** Fluctuations des précipitations pour certaines régions de l'Afrique, exprimées en écart type moyen par région (Nicholson, 1993).

effets sur le développement socio-économique du continent parce que la plupart des activités sont axées sur l'agriculture (Serageldin, 1995).

En raison des incertitudes que comportent les modèles de circulation générale (MCG), il est impossible de faire des prédictions régionales au sujet des changements climatiques (on trouvera à l'annexe B du rapport spécial une évaluation des projections régionales pour les changements climatiques). Il est donc important d'interpréter les résultats des modèles en tenant compte de leurs incertitudes et de les considérer comme des scénarios possibles de changement à utiliser dans les études de sensibilité et de vulnérabilité. Dans les études réalisées par le GIEC (1990 et 1996), de même que par Hernes *et al.* (1995), la région du Sahel (comprise entre le 10° et le 20° degré de latitude Nord et le 20° et le 40° degré de longitude Est) a été choisie dans le but de comparer entre eux les résultats des MCG. Depuis lors, plusieurs méthodes de projection climatique sous-régionale ont été mises au point pour certains pays (par exemple, Joubert, 1995; Ringius *et al.*, 1996), et un certain nombre l'ont été dans le cadre du U.S. Country Studies Program (USCSP, 1996).

La plupart des premières simulations des changements climatiques ont été faites à l'aide de MCG, mais un nombre croissant de centres de modélisation du climat ont utilisé des modèles de circulation régionale (MCR). Ces derniers font appel à des représentations physiques des processus atmosphériques semblables à celles des MCG, mais leur résolution spatiale est beaucoup plus élevée (50 km en général), et leur domaine est restreint. Etant donné que, jusqu'à maintenant, peu de travaux sur les changements climatiques utilisant des MCR emboîtés dans des MCG ont été effectués pour l'Afrique (Ringius *et al.*, 1996), il faut encore extraire les résultats régionaux pour ce continent de ceux des MCG utilisés pour simuler les changements climatiques. Certains de ces résultats sont résumés dans l'encadré 3.

### 3. Vulnérabilités et effets possibles pour les principaux secteurs

#### 3.1 Ecosystèmes terrestres

##### 3.1.1 Introduction

De nombreux systèmes ont été employés pour décrire la végétation et les écosystèmes de l'Afrique. Le système de classification de White (1983), qui est ici utilisé, a été regroupé (d'après Justice *et al.*, 1994) pour montrer les forêts pluviales du centre de l'Afrique (non indiquées) et deux catégories principales de savanes boisées classées en fonction de leur humidité et de leur teneur en éléments nutritifs : les savanes humides à larges feuilles et pauvres en éléments nutritifs, et les savanes arides à feuilles étroites et riches en éléments nutritifs (figure 5). Ce regroupement résume la connaissance actuelle du rôle des éléments nutritifs et de l'humidité du sol dans la répartition de la végétation en Afrique, notamment dans les savanes (Scholes et Walker, 1993). Les savanes à larges feuilles comprennent les vastes miombos du centre et du sud de l'Afrique. Comme les sols pauvres en éléments nutritifs favorisent seulement la croissance de plantes herbacées de piètre qualité pour le pâturage, il existe peu de gros herbivores dans les miombos et les autres savanes à larges feuilles (Frost, 1996). Les savanes à feuilles étroites comprennent les boisés épineux, surtout formés d'acacias, où les plantes herbacées sont de meilleure qualité et qui entretiennent donc la vie d'un grand nombre de gros herbivores; ces zones constituent la principale région d'élevage.

La végétation africaine comprend essentiellement des boisés et des herbages; les forêts pluviales occupent seulement environ 7 % du territoire et représentent un peu moins d'un cinquième de toutes les forêts pluviales qui restent dans le monde, les autres se trouvant en Asie et en Amérique latine (Sayer *et al.*, 1992). Seulement un tiers environ des étendues forestières antérieures de l'Afrique existe encore, et les forêts de l'ouest de l'Afrique disparaissent plus rapidement que celles des autres régions. Les taux de déforestation sont en moyenne de 0,7 % par an (FAO, 1997).

L'IRM (1996) mentionne que seulement 8 % (0,5 million de km<sup>2</sup>) de la forêt régionale de l'Afrique est encore une "forêt frontalière". (La forêt frontalière est essentiellement une forêt naturelle ou vierge dont la superficie est suffisante pour entretenir la vie de populations d'espèces indigènes écologiquement viables.) Plus de 90 % de la forêt vierge de l'ouest de l'Afrique est disparue, et une faible partie seulement de ce qu'il en reste peut être qualifiée de forêt frontalière, dont 77 % est de modérément à fortement menacée par l'exploitation forestière et la chasse commerciale pratiquées pour satisfaire aux besoins croissants des villes en viande sauvage. Les forêts sont aussi de plus en plus menacées dans certaines régions (par exemple, en raison des troubles sociaux qui ont forcé des centaines de milliers de personnes à se réfugier dans la forêt auparavant vierge).

Bon nombre d'études sur les écosystèmes africains mettent l'accent sur certains types de végétation : les savanes, les miombos, les boisés de balsamiers, les parcours naturels ou les forêts pluviales, ou sur certaines régions : le Sahel, l'Afrique du sud du Sahara ou la Communauté pour le développement de l'Afrique australe (SADC). En général, la structure de la végétation africaine est largement déterminée par le climat et, à l'échelle locale, par le type de sol (la texture) et la teneur en éléments nutritifs (Scholes et Walker, 1993). Le feu et les herbivores sont d'importants facteurs de perturbation. Dans les régions plus sèches, la teneur accrue en humidité donnera probablement lieu à un ensemble complexe de rétroactions entre les éléments nutritifs, les incendies, la décomposition et la végétation concurrente.

La variabilité accrue des précipitations et les changements de température perturberont probablement les principaux processus des écosystèmes, comme la phénologie, et auront sur les insectes ravageurs et les maladies des effets dont la plupart sont inconnus. Les effets directs sur les ravageurs comprendront la perturbation du cycle de vie des insectes ou la création de conditions plus propices à de nouveaux ravageurs (ou permettant aux anciens ravageurs d'étendre leur territoire). La tique, la mouche tsé-tsé et la locuste sont des exemples notables d'insectes ravageurs très nuisibles de l'Afrique. Malgré les nombreux efforts déployés

pour étudier ces insectes, il reste beaucoup à faire, notamment en ce qui concerne la façon dont les changements climatiques peuvent les affecter.

### 3.1.2 Facteurs climatiques

Les nombreux facteurs climatiques importants pour la croissance des plantes, les principaux se rapportant aux changements climatiques, comprennent entre autres la température, la disponibilité de l'eau (déterminée par les précipitations et les caractéristiques du sol aussi bien que par d'autres variables météorologiques) et les concentrations de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La prise en considération des effets des changements climatiques exige l'examen des effets directs des changements dans les concentrations de CO<sub>2</sub> et des variables climatiques sur la croissance des plantes ainsi que de la façon dont ces effets directs sont modifiés par les rétroactions du sol et les interactions biologiques entre les différents organismes.

Les effets des changements de température varieront selon les sous-régions et les écosystèmes. Une augmentation des températures réduira les dégâts de gel là où ils se produisent et élargira l'habitat potentiel des espèces qui sont limitées par des basses températures. Il existe beaucoup d'incertitude au sujet de l'ampleur des effets des températures élevées sur la végétation africaine (par

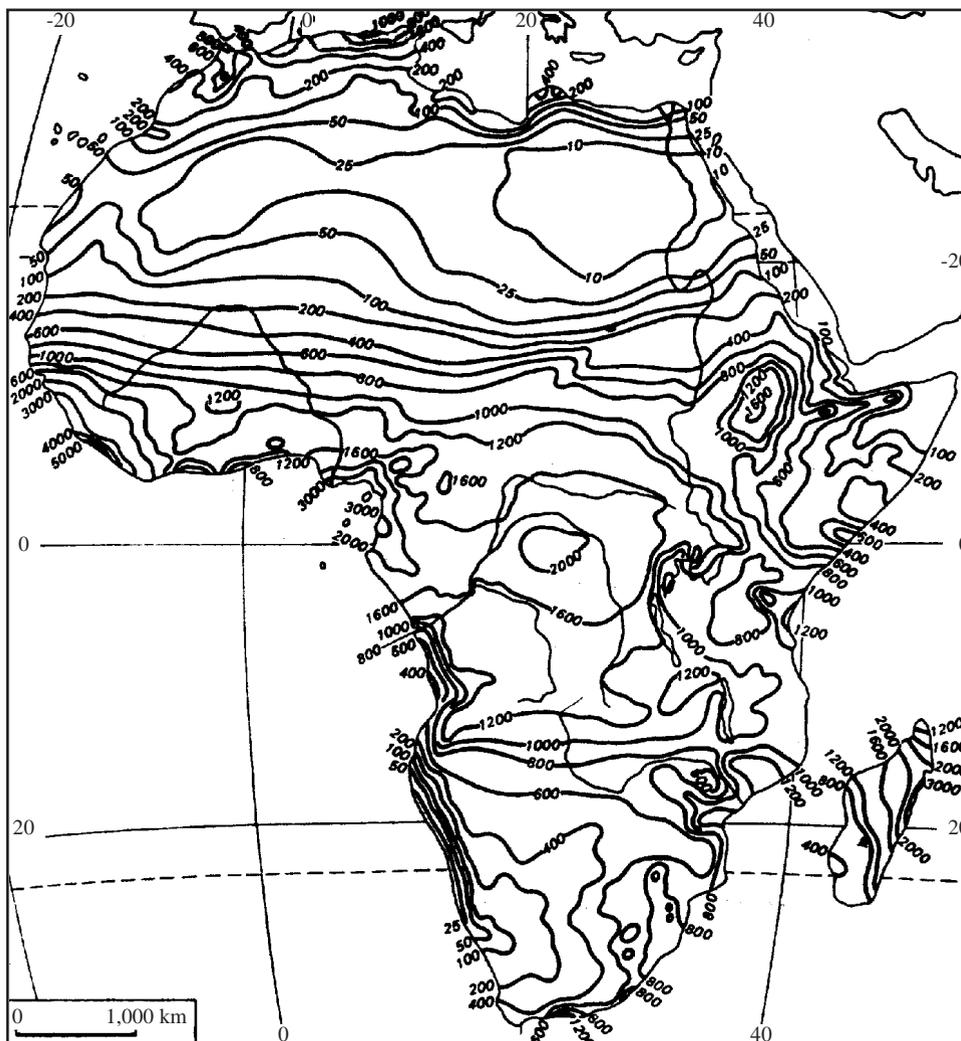


Figure 4 : Précipitations annuelles moyennes (en mm) en Afrique (Martyn, 1992).

### Encadré 3. Scénarios climatiques

Pour ce qui est de la température, il est possible que, d'ici 2050, le continent se réchauffe d'autant que 1,6 °C dans le Sahara et les régions semi-arides du sud de l'Afrique (Hernes *et al.*, 1995; Ringius *et al.*, 1996). Les pays équatoriaux (le Cameroun, l'Ouganda et le Kenya) pourraient se réchauffer d'environ 1,4 °C. Cette projection représente un taux de réchauffement d'environ 0,2 °C par décennie d'ici 2050. L'augmentation des températures à la surface des océans tropicaux ouverts qui entourent l'Afrique sera moindre que la moyenne mondiale (c'est-à-dire seulement de 0,6 à 0,8 °C environ); les zones côtières se réchaufferont donc plus lentement que l'intérieur du continent.

Les changements dans les précipitations prévus par la plupart des MCG sont assez modestes, du moins relativement à la variabilité actuelle des précipitations. En général, les précipitations augmenteront probablement dans tout le continent, sauf dans le sud et certaines parties de la corne de l'Afrique, où elles diminueront d'environ 10 % d'ici 2050. Il est prévu que les changements saisonniers dans les précipitations ne seront pas importants; Joubert et Tyson (1996), en se fondant sur les résultats de certains MCG des couches de mélange et entièrement couplés, n'ont trouvé aucun indice de changement saisonnier dans les précipitations. Les résultats obtenus à l'aide d'un seul modèle de circulation des couches de mélange ont porté Hewitson et Crane (1996) à croire que les précipitations retarderaient légèrement vers la fin de l'été dans l'est de l'Afrique du Sud (mais seulement dans cette région). Toutefois, les changements dans les précipitations à l'échelle régionale simulés par les MCG comportent beaucoup d'incertitudes (Joubert et Hewitson, 1997). Des parties du Sahel pourraient connaître une augmentation des précipitations allant jusqu'à 15 % de plus que la moyenne pour la période de 1961 à 1990. L'Afrique équatoriale pourrait connaître une faible augmentation des précipitations (5 %). Ces résultats ne concordent pas, car différents modèles climatiques ou différentes simulations faites à l'aide du même modèle donnent des configurations différentes. Le problème consiste à déterminer le caractère du signal des changements climatiques pour les précipitations en Afrique dans un contexte de grande variabilité naturelle plus difficile en raison de l'utilisation de modèles climatiques imparfaits.

Les augmentations de température prévues donneront probablement lieu à une évaporation accrue de l'eau libre ainsi que du sol et des plantes. L'importance de cet effet dépendra de facteurs comme les changements physiologiques dans la biologie des plantes, la circulation atmosphérique et les modes d'utilisation des terres. En gros, l'évaporation potentielle en Afrique augmentera probablement de 5 % à 10 % d'ici 2050. Il n'y a pas encore grand-chose à dire au sujet des changements dans la variabilité climatique ou des phénomènes exceptionnels qui peuvent se produire en Afrique. Il se peut fort bien que les précipitations deviennent plus intenses, mais lorsqu'il s'agit de savoir s'il y aura plus de cyclones tropicaux ou un changement dans la fréquence des phénomènes provoqués par *El Niño*, une large place est faite à la spéculation.

D'ici 2050, l'on peut s'attendre à des changements dans le niveau de la mer et dans le climat en Afrique. Hernes *et al.* (1995) prévoient que le niveau de la mer s'élèvera d'environ 25 cm. Selon les courants océaniques, la pression atmosphérique et les mouvements naturels du sol, il y aura des différences sous-régionales et locales aux alentours de la côte de l'Afrique par rapport à cette élévation moyenne, mais 25 cm d'ici 2050 est un chiffre généralement accepté (Joubert et Tyson, 1996). Pour l'Afrique au sud de l'équateur, les changements simulés dans la pression moyenne au niveau de la mer effectués à l'aide de MCG des couches de mélange et entièrement couplés sont faibles (de l'ordre de 1 hPa), et encore plus faibles que les erreurs actuelles de simulation calculées pour les deux types de modèle (Joubert et Tyson, 1996). On sait que des anomalies observées dans la pression au niveau de la mer et du même ordre que les changements simulés accompagnent les importantes modifications à grande échelle de la circulation reliées à de longues périodes d'humidité et de sécheresse dans le sous-continent.

exemple, sur les taux de respiration et les membranes). Comme il est reconnu que la température interagit avec la concentration de CO<sub>2</sub>, les augmentations prévues des taux de respiration résultant d'une augmentation de la température seulement peuvent être compensées ou même réduites par l'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub> (Wullschlegel et Norby, 1992).

Il est prévu que, presque partout en Afrique, la disponibilité de l'eau aura le plus d'effet sur les processus végétatifs. Les espèces sont adaptées à certains régimes hydriques et peuvent mal se comporter ou même mourir dans des conditions auxquelles elles sont mal adaptées (par exemple, Hinckley *et al.*, 1981). Les effets des changements climatiques varieront selon, par exemple, la façon dont certains types de plantes utilisent l'eau (capacité d'utilisation de l'eau, CUE) ou la quantité d'eau disponible dans le sol. Les plantes sont classées par types (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> et CAM), d'après la façon dont la photosynthèse s'effectue (voir

GIEC 1996, Groupe de travail II, section A.2.2). Les plantes de type C<sub>3</sub> (qui comprennent la plupart des arbres et les espèces végétales comme le blé, le riz, l'orge, le manioc et la pomme de terre) possèdent une CUE relativement faible, à l'encontre des plantes de type C<sub>4</sub> (la plupart des plantes herbacées tropicales et les espèces agricoles comme le maïs, la canne à sucre et le sorgho). Il est probable qu'une concentration plus élevée de CO<sub>2</sub> améliorera la capacité d'utilisation de l'eau et la croissance des plantes de type C<sub>3</sub> dans les milieux pauvres en eau. Les plantes de type C<sub>4</sub> et CAM (y compris les plantes des régions désertiques, comme les cactus) ne seront probablement pas directement touchées par des changements dans la concentration de CO<sub>2</sub>.

La quantité d'eau utilisable par les plantes pendant une année influe sur leur croissance et leur emplacement dans divers types de sol et de climat. L'eau disponible du sol (conjointement avec d'autres facteurs, bien entendu) règle en général le cycle de croissance (le début et la fin) ainsi

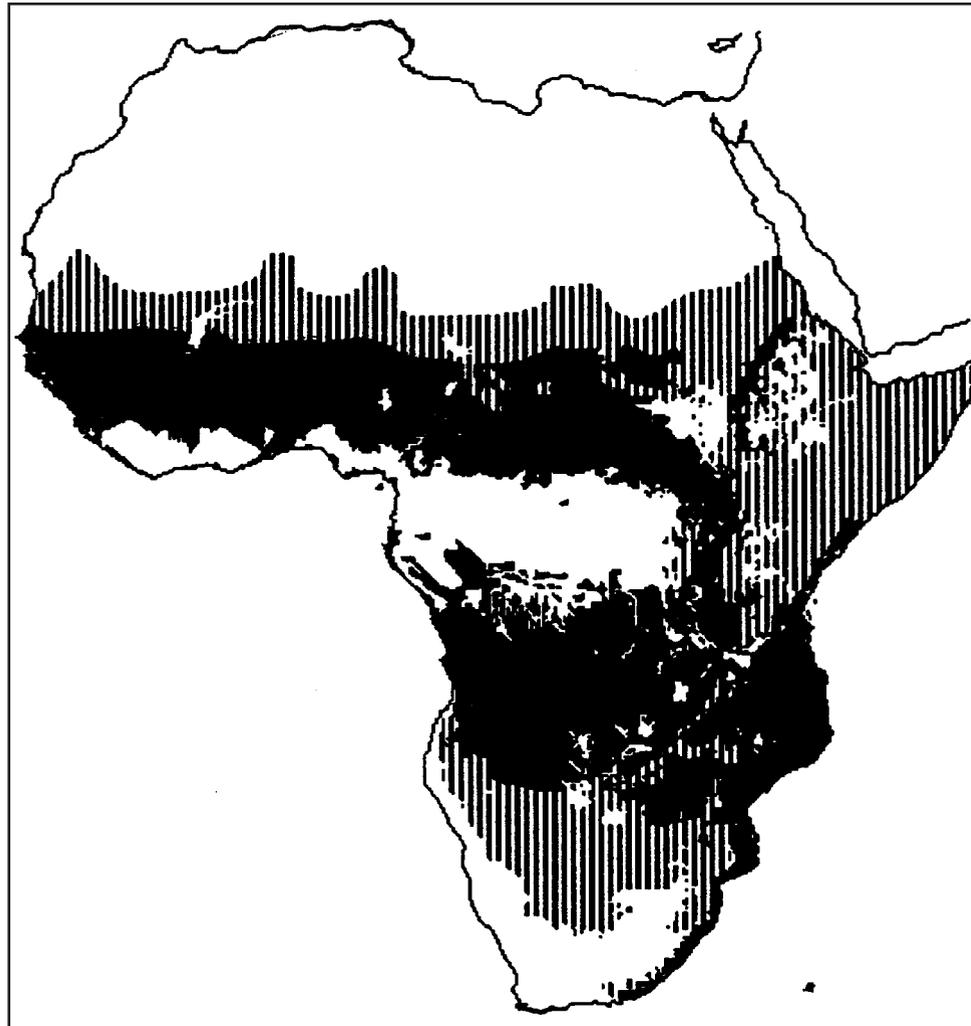
que d'autres stades comme la pousse et la chute des feuilles, la sortie des bourgeons, etc. La disponibilité de l'eau de même que les indices et les paramètres de la température (les maxima et les minima, les sommes de chaleur et de froid) ont servi à établir un rapport entre la répartition des formations végétales et les facteurs climatiques (pour plus de détails sur ces modèles de biogéographie végétale, voir la section 2.3.1.4). Toutefois, comme les projections des MCG concernant les précipitations comportent beaucoup d'incertitudes, notre capacité de prévoir les réponses des écosystèmes aux changements climatiques s'en trouve diminuée. L'amélioration de la modélisation du climat à l'échelle régionale est donc prioritaire pour la plus grande partie de l'Afrique, où les processus écosystémiques sont limités par l'humidité.

### 3.1.3 Types de sol, croissance des plantes et dégradation du sol

Bon nombre de sols africains sont peu propices à l'agriculture parce qu'ils sont très anciens, mal lessivés et souvent infertiles. Pour l'agriculture, les latérites (les sols les plus anciens) sont improductives. Les terres rouges latérisées sont plus jeunes et moins lessivées; comme elles

se trouvent dans des régions où les précipitations sont fortes, elles sont très productives. Les terres rouges non latérisées, que l'on trouve dans les régions plus sèches (par exemple, dans les savanes), constituent de bons sols agricoles. Les terres rouges des hauteurs forment un groupe peu évolué qui donne occasionnellement lieu à une culture intensive. Là où les précipitations sont modérées, les sols les plus fertiles se trouvent dans le haut Veldt du sud de l'Afrique et dans certaines parties de l'ouest du continent. Les sols noirs (les vertisols) sont très fertiles mais s'agglutinent pendant la saison des pluies et deviennent presque aussi durs que de la roche en période de sécheresse. Dans les régions arides, la teneur du sol en humus est très faible; l'eau est souvent aspirée par capillarité et, en s'évaporant, elle dépose des minéraux dissous sous forme de croûte à la surface. Dans les régions méditerranéennes, la sécheresse estivale, l'absence de gel et le faible degré d'altération chimique météorique ont donné lieu à des sols mal formés.

La capacité du sol d'entretenir la vie de certaines communautés naturelles ou agricoles est essentielle aux futurs scénarios de développement des écosystèmes. Le développement du sol est lent et prendra



**Figure 5 :** Répartition des savanes à larges feuilles et à feuilles étroites en Afrique. Les zones foncées représentent les savanes humides, à larges feuilles et pauvres en éléments nutritifs, et les zones rayées, les savanes arides, à feuilles étroites et riches en éléments nutritifs. Cette carte a été dressée d'après celle de White (1983) en reclassifiant les unités cartographiques de boisés et d'herbages boisés dans l'une des deux catégories de savanes selon l'espèce d'arbre dominante.

probablement du retard sur le changement dans le climat et la végétation. A court terme, les changements dans le rapport sol-eau, le renouvellement de la matière organique et sa minéralisation ou l'immobilisation de l'azote et d'autres éléments nutritifs auront le plus d'effets sur les fonctions des écosystèmes. Les incendies et l'utilisation des terres sont probablement les facteurs les plus importants qui influenceront sur ces processus pédologiques. En raison de leur effet direct sur les processus de la matière organique dans le sol et les flux d'éléments nutritifs, les changements dans le régime des incendies (par exemple, leur fréquence et leur intensité) influenceront considérablement sur le fonctionnement des sols. L'utilisation des terres à certains endroits et ses antécédents influent sur la dynamique des éléments nutritifs et l'éventualité des dommages dus à l'érosion.

La dégradation du sol, définie comme "une diminution de la capacité du sol de se prêter à une utilisation en particulier" (Blaikie et Brookfield, 1987), est un problème important en Afrique et dans le monde entier. L'appui des pays africains à la Convention sur la désertification (Nations Unies, 1992), qui reconnaît que 66 % du continent est désertique ou aride et que 73 % des terres arides agricoles sont déjà dégradées, montre clairement que les gouvernements africains sont conscients de ce problème.

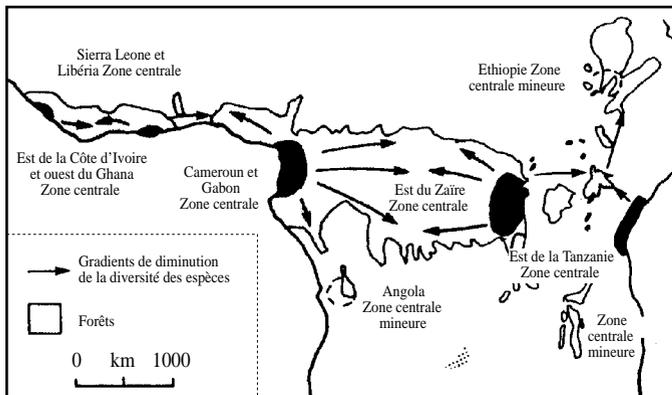
Les formes reconnues de dégradation du sol comprennent l'érosion, la salinisation, la contamination, la perte de matière organique, la diminution de la teneur en éléments nutritifs, l'acidification et la perte de structure. Les faibles précipitations, les longues saisons sèches, les sécheresses périodiques, les dépôts mobiles en surface, les sols squelettiques et la végétation clairsemée favorisent la désertification (Le Houcrou, 1989; Dregne, 1983; Kassas, 1995). Des variations climatiques jointes à l'emploi de méthodes de gestion des terres par les humains peuvent mener à une dégradation excessive du sol et, éventuellement, à la désertification. Les efforts déployés pour réduire la vulnérabilité aux changements climatiques doivent donc tenir compte de la gestion des terres ainsi que des facteurs socio-économiques à l'origine de l'utilisation des terres par les gens.

Dans la plupart des études sur l'érosion du sol, on a calculé la perte de sol à l'aide de mesures dans les parcelles, puis extrapolé les résultats pour estimer la perte totale de sol par hectare. Bien que l'érosion du sol soit à n'en pas douter un important problème dans bien des régions de l'Afrique, de simples extrapolations à partir de parcelles afin d'obtenir des résultats pour des pays entiers et pour l'avenir peuvent être trompeuses. L'érosion est un problème de taille, et des mesures doivent être prises pour lutter contre l'érosion du sol dans les fermes et les bassins versants. Reij *et al.* (1996) sont en faveur d'approches participatives en matière de conservation du sol et de l'eau plutôt que d'interventions de haut en bas et à grande échelle faisant appel à la technologie seulement. Le contexte social et économique est essentiel à la réussite.

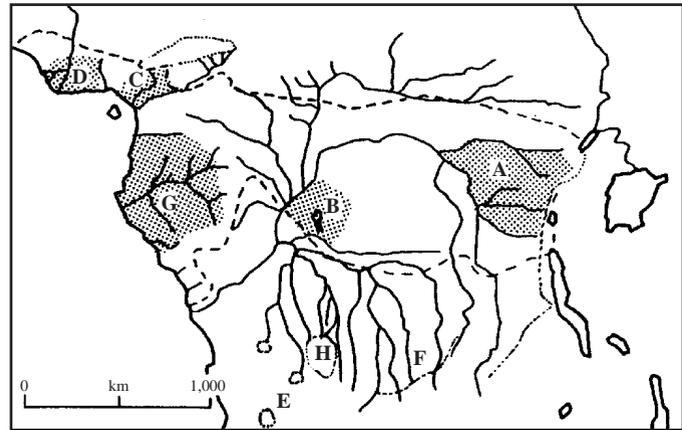
3.1.4 Ecosystèmes forestiers

Les forêts de l'Afrique ont une grande importance socio-économique parce qu'elles fournissent du bois, du combustible et bon nombre de produits non ligneux tout en protégeant les ressources hydriques. Du point de vue écologique, elles jouent un rôle essentiel dans le cycle de l'eau, du carbone et des éléments nutritifs. A l'échelle continentale, les effets des changements climatiques sur les forêts seront évalués de façon très générale à l'aide de modèles de distribution des biomes.

A l'échelle de temps géologique, les limites des forêts ont considérablement fluctué pendant le pléistocène (Sayer *et al.*, 1992); même actuelle-



**Figure 6 :** Distribution des forêts, des zones centrales et des gradients de diminution de la diversité biotique en Afrique tropicale. On croit que les zones centrales se trouvent à peu près aux mêmes endroits que l'étaient les refuges forestiers lors du dernier maximum glaciaire mondial, il y a 18 000 ans AP (Hamilton, 1988).



**Figure 7 :** Refuges forestiers pendant les périodes arides en Afrique centrale : A, refuge central; D, C et G, refuge du Cameroun et du Gabon (D, section du Niger; C, section du Cameroun; G, section du Gabon ou du bassin de l'Ogooué); B, refuge du bassin du sud du Zaïre; E, refuge du nord de l'Angola; F, escarpements méridionaux du bassin du Zaïre; H, plateau du Lunda (Kingdon, 1980).

ment, les forêts de l'Afrique sont beaucoup plus étendues qu'elles ne l'étaient durant la dernière avance glaciaire sous des latitudes élevées, il y a environ 18 000 ans. En Afrique tropicale, les conditions du milieu il y a environ 18 000 ans avant le présent (AP) sont très bien connues en raison des nombreuses études sur les microfossiles de pollen et de plantes qui ont été réalisées (pour de plus amples renseignements, voir Hamilton, 1988). Pendant la rigoureuse période aride, il y a environ 18 000 ans AP, les zones centrales (les centres de diversité biotique) étaient les principaux centres de survie en forêt. Deux de ces principales zones centrales se trouvent dans la région du Cameroun et du Gabon ainsi que dans l'est de la République démocratique du Congo (RDC) (anciennement le Zaïre), et d'autres, où la diversité biotique est moindre, sont situées dans l'ouest de l'Afrique et près de la côte est de ce continent (Sayer *et al.*, 1992). Les zones centrales, où il existe un grand nombre d'espèces endémiques et autres, sont également des centres de distribution d'espèces isolées. Il est improbable que certaines de ces espèces puissent se disperser d'une zone centrale à une autre sans couvert forestier continu. Par exemple, les gorilles sont répartis en deux groupes isolés dans tout le bassin du Zaïre (figures 6 à 8). Bien que les forêts qui séparent les deux populations semblent convenir à l'espèce, on se demande comment leurs aires se sont fragmentées. Dans le cas des gorilles et d'autres espèces forestières obligatoires, il est probable que cette fragmentation s'est produite en raison du recul des forêts en période d'aridité et que ces espèces ont ensuite été lentes à élargir leur aire de façon à y inclure tous les habitats possiblement convenables. Il se peut donc que les espèces animales ne s'adaptent pas assez vite à de rapides changements climatiques.

La distribution de la végétation actuelle peut être étudiée à l'aide de modèles de distribution des biomes. Ces modèles, comme MAPSS (Neilson, 1995) et BIOME3 (Haxeltine et Prentice, 1996), simulent la distribution de la végétation mondiale potentielle à l'aide de données sur la végétation locale, les processus hydrologiques et les propriétés des plantes. Ils simulent les diverses formes de vie (comme les arbres, les arbustes et les espèces herbacées) qui peuvent coexister en un lieu tout en se faisant concurrence pour la lumière et l'eau. Ces modèles simulent la capacité de charge totale, ou la densité de végétation (la

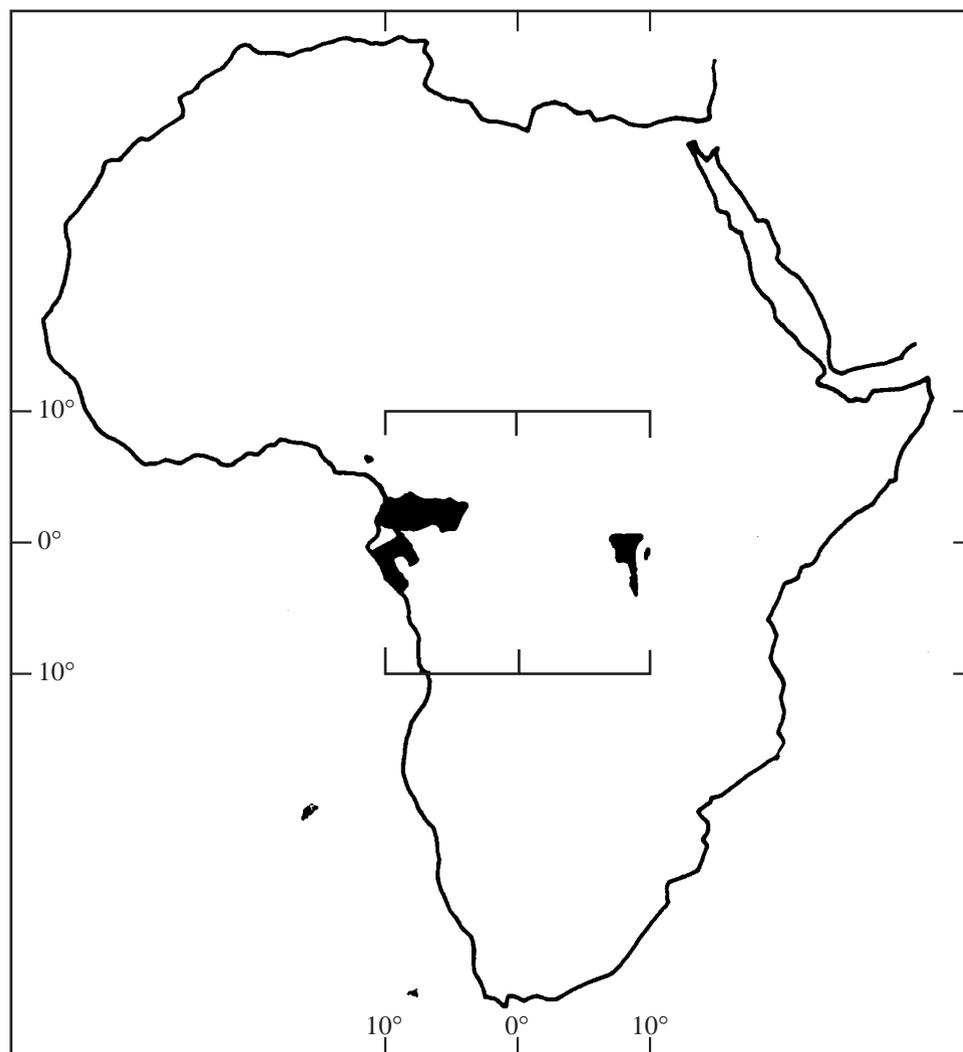


Figure 8 : Répartition des gorilles en Afrique (Harcourt *et al.*, 1989).

superficie foliaire), que peut supporter le lieu compte tenu de l'énergie et de l'eau disponibles. Un changement dans la superficie foliaire peut être interprété comme un changement dans la capacité de charge totale ou la population sur pied du lieu, qu'il s'agisse d'une végétation naturelle potentielle ou en culture. Cette capacité de charge potentielle permet d'appliquer ces modèles à toute l'Afrique afin d'indiquer les changements qui peuvent se produire dans les possibilités en matière d'agriculture ou de végétation.

Les modèles de distribution des biomes simulent seulement la végétation statique (c'est-à-dire en équilibre à une date ultérieure). Les facteurs qui influent sur la dynamique de la végétation, comme la concurrence et la perturbation (par les incendies et les herbivores), ne sont pas pris en considération. Ils n'ont pas encore été incorporés aux modèles de végétation mondiale (mais Woodward et Steffen, 1996, mentionnent des projets et des développements à cet égard). La migration est un facteur important à prendre en compte pour savoir si un type de végétation

Tableau 1 : Changements dans la superficie (en 1000 km<sup>2</sup>) des principaux types de biome pour le scénario actuel et ceux des MCG utilisant le MAPSS (avec un effet direct du CO<sub>2</sub>).

Type de biome <sup>1</sup>	Actuel <sup>2</sup>	OSU <sup>3</sup>	GFDL <sup>3</sup>	UKMO <sup>3</sup>
Forêt tropicale à feuilles caduques	2986	5752	4798	2909
Savanes et boisés	8845	8662	9462	11449
Plantes herbacées et arbrisseaux réunis	8713	7534	8083	8025
Terres arides	8814	7497	7146	7200

<sup>1</sup> Les types de biome sont définis dans l'Annexe C dans la description du modèle MAPSS. Les types de biome mineurs n'ont pas été pris en compte; les totaux ne seront donc pas les mêmes. Les études sont des scénarios d'équilibre 2xCO<sub>2</sub> et sont décrits dans l'Annexe C.

<sup>2</sup> Climat moyen 1961–90.

<sup>3</sup> Tous les scénarios sont des scénarios d'équilibre 2xCO<sub>2</sub>.

Les résultats des modèles MAPSS et BIOME3 (voir l'annexe C au rapport spécial) ont été obtenus en utilisant plusieurs scénarios établis pour les MCG, avec et sans effets dus au CO<sub>2</sub> et aux émissions d'aérosols. Le tableau 1 résume les changements dans la superficie de quatre principaux types de biome en Afrique (les herbages ont été ajoutés au biome comprenant les arbrisseaux et les boisés). Les modèles prédisent un net changement où les biomes plus arides (dont l'indice de superficie foliaire, ISF, est faible) deviennent plus mésiques (l'ISF est plus élevé) pour les scénarios de l'OSU, du GFDL et de l'UKMO. Les pourcentages exacts de ce changement et les endroits où il se produira sont très incertains parce que les modèles indiquent la végétation potentielle, et non réelle.

Les modèles de distribution des biomes peuvent saisir certaines divisions générales (par exemple, différencier les forêts pluviales des boisés et des terres arides), mais ils sont encore incapables de percevoir les particularités à petite échelle pour l'Afrique. Cette limitation est due à la qualité des données climatiques utilisées comme valeurs d'entrée, aux renseignements sur les sols grossiers et à la nature des modèles, qui ont été principalement conçus pour décrire la végétation dans les climats tempérés.

peut réagir comme dans la simulation. Pour les espèces migratrices, il faudrait des corridors naturels. La fragmentation du reste de la végétation africaine (à l'extérieur des forêts pluviales) rendrait difficiles les réactions de la végétation aux changements climatiques. En raison de leurs effets destructifs, les incendies réduiraient aussi la migration. Puisque la dynamique des savanes et des boisés (comme les miombos) est fortement reliée aux incendies, les changements probables dans leur intensité et leur fréquence auront des conséquences inconnues sur la végétation.

Certains progrès sont en train d'être réalisés en vue de la mise au point de modèles de dynamique de la végétation incluant les effets des incendies et des herbivores sur la végétation africaine (par exemple, Menaut *et al.*, 1991; Van Dalaan et Shugart, 1989; Desanker, 1996). Toutefois, ces modèles devront être bien testés et validés avant qu'ils puissent servir à évaluer les conséquences des changements climatiques à grande échelle. Les résultats de la modélisation biogéochimique dans les savanes à l'aide du modèle CENTURY de Parton *et al.* (1992) sont discutés à la section 2.3.1.5.

### 3.1.5 Parcours naturels

En Afrique, les parcours naturels (c'est-à-dire les herbages, les savanes et les boisés, qui contiennent à la fois des plantes herbacées et ligneuses) s'étendent sur environ  $2,1 \times 10^9$  ha. Le bétail, qui comprend approximativement 184 millions de bovins, 3,72 millions de petits ruminants (moutons et chèvres) et 17 millions de chameaux, tire environ 80 % de sa nourriture de ces vastes parcours naturels (GIEC 1996, Groupe de travail II, tableau 1). En outre, les parcours naturels de l'Afrique font vivre une vigoureuse industrie touristique qui, dans bien des pays, contribue le plus au produit intérieur brut (PIB). Comme la population de l'Afrique s'est accrue d'environ 3 % par année, les parcours naturels sont récemment devenus le théâtre d'un conflit intense entre les humains et les animaux, ce qui a considérablement diminué la distribution spatiale et la diversité des espèces. Cette diminution sera probablement exacerbée par les changements climatiques prévus.

L'utilisation des parcours naturels est différente selon qu'ils se trouvent dans l'ouest ou dans l'est de l'Afrique. Dans les régions arides et semi-arides de l'ouest de l'Afrique (où la hauteur de pluie varie entre 5 et 600 mm), le millet (ou une autre espèce végétale) est planté sur une période de trois à quatre mois pendant une saison des pluies unimodale (c'est-à-dire comportant un seul maximum par année); les champs demeurent alors en jachère pendant les huit à neuf mois que dure la saison sèche. Le bétail se nourrit des résidus de culture. Les terres servent surtout à la culture, tandis que l'élevage du bétail joue un rôle subsidiaire dans l'économie des villages (Ellis et Galvin, 1994). Par contraste, dans l'est de l'Afrique, les régions où la hauteur de pluie est plus élevée (et peut aller jusqu'à 600 mm) sont habitées par des pasteurs plutôt que par des agriculteurs. Par exemple, dans le nord du Kenya, les Ngisonyoka, un peuple de pasteurs nomades, comptent entièrement sur le bétail pour se nourrir, gagner leur vie et survivre (Galvin, 1992). Dans les régions sèches de l'est de l'Afrique, la culture est rare et se fait surtout lorsque l'irrigation est possible ou que l'eau peut être recueillie et stockée (Ellis et Galvin, 1994). Comme la saison des pluies est bimodale (comportant deux maximums par année) dans la plupart des parcours naturels de l'est de l'Afrique, il y a deux saisons de croissance des plantes, ce qui entraîne d'importantes conséquences pour la végétation naturelle et l'agriculture sans irrigation (de Ridder *et al.*, 1982).

D'après Ellis *et al.* (1987), les Turkanas, un peuple de pasteurs du Kenya-Nord, disent que les meilleures années pour l'élevage du bétail ne sont pas nécessairement celles où il pleut le plus. Les bonnes années sont plutôt celles où une pluie modérée dure plusieurs mois, ce qui donne lieu à une longue période de production de feuillage et de lait par le bétail. La distribution et la période des précipitations seront donc au moins aussi importantes que les quantités annuelles totales de pluie prévues en raison des changements climatiques.

Les parcours naturels sont caractérisés par une grande variabilité climatique et une fréquence élevée des sécheresses. Ils sont depuis longtemps utilisés par les humains. Cette variabilité, jointe à l'utilisation de ces terres par les humains, rend les écosystèmes des parcours naturels plus susceptibles de se dégénérer rapidement (Parton *et al.*, 1996). Comme ces systèmes se développent dans des conditions pluviométriques extrêmement variables, leur structure peut changer rapidement lorsque la configuration des incendies et le mode de pâturage (Archer *et al.*, 1994; Ojima *et al.*, 1994) ainsi que les régimes climatiques sont modifiés (OIES, 1991).

À très large échelle, les simulations faites avec les modèles de distribution des biomes (MAPSS et BIOME3) ont prédit une augmentation de l'étendue des parcours naturels, surtout en raison d'une diminution de la superficie des déserts arides et semi-arides résultant de la réduction du stress de sécheresse occasionnée par de plus fortes précipitations. Toutefois, les modèles de processus écosystémiques conviennent mieux à l'analyse de ce type d'écosystème. Ojima *et al.* (1996) ont utilisé le modèle CENTURY (Parton *et al.*, 1992) d'interaction entre les plantes et le sol pour analyser l'effet du climat et des changements dans la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> sur les herbages dans le monde, y compris dans 7 de 31 endroits en Afrique. Ils ont examiné les effets du climat et de l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> en se servant des scénarios de changement climatique employés dans les MCG du Centre climatique canadien (CCC) et du GFDL. Ils ont constaté que les changements dans la productivité totale des plantes étaient corrélés positivement avec les changements dans les précipitations et la minéralisation de l'azote (ce dernier facteur étant le plus important). La réponse à la minéralisation de l'azote était conforme à l'observation générale selon laquelle les herbages réagissaient positivement à l'ajout d'engrais à l'azote (Rains *et al.*, 1975; Lauenroth et Dodd, 1978). La réponse des plantes au CO<sub>2</sub> a été modifiée de diverses façons complexes par l'humidité et les éléments nutritifs disponibles; les résultats obtenus ont indiqué en général que l'enrichissement en CO<sub>2</sub> avait un effet plus considérable si le stress hygrométrique était plus élevé. Cependant, la limitation des éléments nutritifs a réduit les réponses au CO<sub>2</sub>. Ojima *et al.* (1996) ont conclu que l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> contrebalancera les effets négatifs des sécheresses périodiques et rendra les herbages plus résistants à la variabilité climatique naturelle (et d'origine anthropique). Toutefois, l'importance de cet effet bénéfique dépend de la disponibilité de l'azote et d'autres éléments nutritifs, qui est en général limitée dans bon nombre de régions de l'Afrique.

### 3.1.6 Déserts

Les déserts sont des milieux extrêmes caractérisés par de faibles précipitations très variables pendant l'année et d'une année à l'autre. L'air y est très sec; le rayonnement solaire incident et le rayonnement terrestre sortant sont intenses, les fluctuations quotidiennes de la température

sont considérables, et l'évaporation potentielle est élevée. Bon nombre d'organismes vivant dans les déserts ont déjà presque atteint leur limite de tolérance (GIEC, 1996). Le Sahara, dans le nord de l'Afrique, et le désert du Namib, dans le sud-ouest de ce continent, sont classés comme les déserts les plus chauds au monde; les températures mensuelles moyennes sont supérieures à 30 °C pendant les mois les plus chauds, et les extrêmes de température dépassent 50 °C. L'intervalle de variation de la température diurne est souvent considérable; pendant les nuits d'hiver dans le désert du Namib, la température peut parfois descendre jusqu'à 10 °C (GIEC 1996, Groupe de travail II, section 3.3.1) ou moins. Les systèmes extrêmes des déserts connaissent déjà de larges fluctuations de pluviosité et sont adaptés à des successions de conditions extrêmes. Il est peu probable que les premiers changements reliés aux changements climatiques créent des conditions bien à l'extérieur des intervalles actuels de tolérance; les biotes du désert ont recours à des moyens très particuliers pour s'adapter à l'aridité et à la chaleur, par exemple, en retirant l'eau du brouillard ou de la rosée (GIEC 1996, Groupe de travail II, section 3.4.2).

### 3.1.7 Régions montagneuses

Les montagnes sont ordinairement caractérisées par des écosystèmes fragiles et des régions où entrent en conflit le développement économique et la conservation de l'environnement. En Afrique, les activités commerciales et agricoles de subsistance exercent beaucoup de pression sur la plupart des parcours à moyenne altitude, les plateaux et les pentes des hautes montagnes (Rogers, 1993). Les milieux montagneux peuvent être vulnérables aux effets du réchauffement de la planète. Cette vulnérabilité entraîne d'importantes conséquences pour une grande variété d'usages humains, comme la conservation de la nature, la mise en valeur des torrents, la gestion de l'eau, l'agriculture et le tourisme (GIEC 1996, Groupe de travail II, section 5.2).

De façon générale, la glace sur les montagnes continue de reculer. Sur le mont Kenya, les glaciers Lewis et Gregory ont commencé à reculer depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (GIEC 1996, Groupe de travail II, encadré 5-3). Des changements climatiques (comme le prévoient Greco *et al.*, 1994) pourraient diminuer la superficie et le volume de la neige saisonnière, des glaciers et des ceintures périglaciaires, ce qui modifierait les processus du paysage. Le recul de certains glaciers sur le Kilimanjaro et le mont Kenya aurait d'importants effets sur les écosystèmes en aval, les gens et leur gagne-pain en raison de la modération des régimes saisonniers d'écoulement des cours d'eau en amont. Une diminution accrue de la couverture de neige et du volume des glaciers pourrait aussi réduire l'attrait spectaculaire des hautes montagnes de l'Afrique pour les visiteurs et donc nuire au tourisme.

Les incendies de forêt augmenteraient là où les étés deviendraient plus chauds et plus secs. Des périodes prolongées de sécheresse pendant l'été transformeraient les secteurs déjà vulnérables aux incendies en régions où les risques d'incendie seraient continus. Le mont Kenya et les montagnes en bordure de la Méditerranée qui connaissent déjà de fréquents épisodes d'incendie pourraient être touchés (GIEC 1996, Groupe de travail II, section 5.2.2.3).

### 3.1.8 Adaptation et vulnérabilité

En Afrique, l'adaptation peut être spontanée ou assistée. Bon nombre de mesures devront à la fois viser à réduire la dégradation des terres et à encourager la gestion durable des ressources. La présente section

souligne les diverses mesures à prendre pour la foresterie et les boisés, les parcours naturels et la faune.

Un certain nombre de mécanismes d'adaptation ayant pour but de prévenir une plus forte détérioration du couvert forestier sont en train d'être mis en œuvre dans une certaine mesure. Quelques-uns sont naturels et se déclenchent lorsque certaines espèces d'arbres réagissent à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> en utilisant plus efficacement de moindres quantités d'eau et d'éléments nutritifs. D'autres mesures d'adaptation comprennent les programmes d'action assistés par les humains (comme la plantation d'arbres) ayant pour but de réduire au minimum les effets indésirables. Ces stratégies doivent comporter la surveillance et la micro-évaluation minutieuses des effets discrets des changements climatiques sur certaines espèces. Les mesures d'adaptation des forêts à basse latitude, notamment dans l'ouest de l'Afrique, doivent comprendre la gestion active de la végétation et du sol. Par exemple, Gilbert *et al.* (1995) ont mentionné que des pratiques sylvicoles, la gestion de l'habitat des espèces en péril, la modification des bassins hydrographiques et des techniques de lutte contre la désertification pourraient être appliquées en tenant compte de l'infrastructure actuelle du Cameroun et du Ghana. Ces mesures aideront à réduire les effets des changements climatiques sur les bassins hydrographiques forestiers et les boisés semi-arides. D'après Smith et Lenhart (1996), l'amélioration des banques de semences forestières est l'une des mesures d'adaptation pouvant assurer l'accès à une variété de semences suffisante pour permettre à la diversité génétique originale des forêts de se régénérer. Cette diversité garantit aussi que les avantages offerts par les forêts ne sont pas perdus à jamais (Smith et Lenhart, 1996), et elle est particulièrement importante pour la conservation des forêts au Sahel et dans d'autres régions de l'Afrique extrêmement fragiles où 20 ans de sécheresses périodiques ont dégradé les forêts. Mwakifwamba (1997) soutient que les stratégies ou les mesures d'adaptation en Tanzanie devraient surtout avoir pour but de réduire les taux élevés de déforestation, de protéger les forêts existantes, d'introduire de nouvelles espèces ou d'améliorer celles qui existent actuellement.

Milton *et al.* (1994) présentent un modèle conceptuel de dégradation des parcours naturels arides portant à croire que ces phénomènes se produisent par étapes qu'il est de plus en plus difficile et coûteux de renverser, et ils discutent de diverses mesures d'adaptation (voir l'encadré 4). La gestion assistée est beaucoup plus difficile pour la faune dans les réserves de gibier que pour le bétail. Une surveillance est nécessaire pour relever les populations menacées (par la déforestation) ainsi que les zones réservées où les types de végétation changent par réaction au climat, ce qui laisse certains animaux dans des habitats qui ne leur conviennent pas. En raison de la fragmentation massive des forêts et des boisés préexistants, il est difficile pour la faune de migrer dans des corridors vers des régions où l'eau et le feuillage sont plus abondants. Une étroite surveillance permettrait de relever les groupes d'espèces fauniques en danger, et des mesures pourraient alors être prises afin de les transporter dans un habitat convenable.

Au niveau institutionnel, des mécanismes doivent être créés (ou améliorés) afin de faciliter l'apport de résultats scientifiques au processus décisionnel. La planification conjointe des projets qui auraient des incidences sur les bassins versants transfrontaliers sera de plus en plus importante si le climat devient plus variable, et l'eau, plus rare dans bon nombre de régions de l'Afrique.

**Encadré 4. Modèle conceptuel de dégradation d'un parcours naturel aride**

La surutilisation des parcours naturels par un petit groupe d'herbivores domestiqués a mené à une perte progressive de productivité secondaire et de diversité. Une fois dégradés, il est possible que ces parcours ne reviennent pas à leur état original même s'ils ont été en repos pendant des décennies (Westoby *et al.*, 1989; O'Connor, 1991). Milton *et al.* (1994) avancent l'hypothèse que la probabilité de renverser le changement provoqué par le pâturage peut être inversement proportionnelle à l'ampleur de la perturbation occasionnée par la transition. Ils créent un modèle de dégradation par étapes des parcours naturels et montrent comment la possibilité de rétablissement semble reliée à la fonction de l'élément touché. Leur étude souligne la nécessité de reconnaître et de traiter la dégradation dès le début parce que les intrants et les coûts de gestion augmentent à chaque étape du processus de dégradation. Les étapes et les mesures de gestion sont décrites ci-dessous.

Pour les effets climatiques, des modèles semblables peuvent être construits afin de conceptualiser les conséquences possibles et les points d'intervention.

*Etapes de la dégradation des parcours naturels arides et mesures de gestion à prendre*

Dégradation par étapes des parcours naturels arides ou semi-arides. Les symptômes décrivent l'état des assemblages de plantes et d'animaux; les mesures de gestion s'entendent des moyens qu'un gestionnaire pourrait prendre pour améliorer l'état du parcours, et le niveau de gestion a trait au système (niveau de la chaîne alimentaire) à gérer.

**Etape 0**

- Description : La biomasse et la composition de la végétation varient selon les cycles climatiques et les phénomènes stochastiques (par exemple, les sécheresses, les maladies, la grêle, le gel, les incendies).
- Symptômes : La végétation vivace varie selon les conditions atmosphériques.
- Mesure de gestion : Gestion d'adaptation comportant des manipulations opportunes de la densité du bétail.
- Niveau de gestion : Producteurs secondaires (c'est-à-dire les brouteurs et les herbivores).

**Etape 1**

- Description : Les herbivores réduisent le rétablissement des plantes appétentes, ce qui favorise la croissance de populations d'espèces non appétentes.
- Symptômes : Changements dans la démographie des populations de plantes (changements selon l'âge).
- Mesure de gestion : Stricte réglementation du pâturage.
- Niveau de gestion : Producteurs secondaires.

**Etape 2**

- Description : Les espèces végétales qui ne peuvent s'établir sont perdues, tout comme leurs prédateurs spécialisés et leurs symbiotes.
- Symptômes : Pertes d'espèces végétales et animales, capacité réduite d'entretenir la vie des herbivores.
- Mesure de gestion : Aménagement de la végétation (par exemple, ajout de semences, enlèvement de plantes).
- Niveau de gestion : Producteurs primaires (c'est-à-dire la végétation).

**Etape 3**

- Description : La biomasse et la productivité de la végétation fluctuent à mesure que les plantes éphémères et les espèces non économiques bénéficient de la perte du couvert que procurent les plantes vivaces.
- Symptômes : Réduction de la biomasse vivace (augmentation du nombre de plantes à courte durée de vie et de l'instabilité), diminution des oiseaux résidants, espèces d'oiseaux nomades.
- Mesure de gestion : Aménagement du sol en surface (par exemple, paillage, obstacles à l'érosion, traitement de la surface du sol pour la rendre rugueuse).
- Niveau de gestion : Milieu physique (sol).

**Etape 4**

- Description : La dénudation et la désertification entraînent des changements dans la fonction et l'activité microbienne du sol.
- Symptômes : Perte complète du couvert végétal, accélération de l'érosion, salinisation du sol, aridification.
- Mesure de gestion : Difficile à déterminer; les coûts de la restauration ou du rétablissement sont trop élevés; la seule mesure économique est l'utilisation des terres à des fins autres que le pâturage.
- Niveau de gestion : Difficile à déterminer.

**Tableau 2** : Les 10 plus importants plans d'eau de surface dans le sud du Sahara (Rangeley et al., 1994).

Bassin	Nombre de pays	Superficie du bassin (1000 km <sup>2</sup> )	Pays arrosés
Congo	9	3720	Rép. démocratique du Congo, République centrafricaine, Angola, Congo, Zambie, Tanzanie, Cameroun, Burundi, Rwanda
Nil	10	3031	Soudan, Ethiopie, Egypte, Ouganda, Tanzanie, Kenya, Rép. démocratique du Congo, Rwanda, Burundi
Niger	9	2200	Mali, Nigéria, Niger, Guinée, Cameroun, Burkina Faso, Bénin, Côte d'Ivoire, Tchad
Lac Tchad	6	1910	Tchad, Niger, République centrafricaine, Nigéria, Soudan, Cameroun
Zambèze	8	1420	Zambie, Angola, Zimbabwe, Mozambique, Malawi, Botswana, Tanzanie, Namibie
Orange	4	950	Afrique du Sud, Namibie, Botswana, Lesotho
Okavango	4	529	Botswana, Angola, Namibie, Zimbabwe
Limpopo	4	385	Afrique du Sud, Botswana, Mozambique, Zimbabwe
Volta	6	379	Burkina Faso, Ghana, Togo, Côte d'Ivoire, Bénin, Mali
Sénégal	4	353	Mali, Mauritanie, Sénégal, Guinée

### 3.2 Hydrologie et ressources en eau

Comme les ressources en eau sont inextricablement liées au climat, les changements climatiques prévus à l'échelle de la planète comportent de graves conséquences pour ces ressources et le développement régional (Riebsame *et al.*, 1995). Pour fournir à l'Afrique des ressources hydriques suffisantes, il faudra faire face à un certain nombre de difficultés, y compris la pression démographique, les problèmes liés à l'utilisation des terres, comme l'érosion et l'envasement, et les conséquences écologiques possibles du changement dans l'utilisation des terres pour le cycle hydrologique. Les changements climatiques rendront plus complexe la recherche de solutions à ces problèmes.

#### 3.2.1 Systèmes hydrologiques

Plusieurs plans d'eau de surface sont répartis dans tout le continent africain. Le tableau 2 énumère les dix plus importants plans d'eau de surface qui se trouvent dans le sud du Sahara, indique les pays qu'ils arrosent et mentionne la superficie de ces bassins (d'après Rangeley *et al.*, 1994). Il existe d'autres plans d'eau moins importants sur les territoires nationaux. L'Afrique possède le plus grand nombre de cours d'eau et de plans d'eau qui constituent des frontières internationales ou qui les traversent.

La surutilisation des parcours naturels par un petit groupe d'herbivores domestiqués a mené à une perte progressive de productivité secondaire et de diversité. Une fois dégradés, il est possible que ces parcours ne reviennent pas à leur état original même s'ils ont été en repos pendant des décennies (Westoby *et al.*, 1989; O'Connor, 1991). Milton *et al.* (1994) avancent l'hypothèse que la probabilité de renverser le changement

provoqué par le pâturage peut être inversement proportionnelle à l'ampleur de la perturbation occasionnée par la transition. Ils créent un modèle de dégradation par étapes des parcours naturels et montrent comment la possibilité de rétablissement semble reliée à la fonction de l'élément touché. Leur étude souligne la nécessité de reconnaître et de traiter la dégradation dès le début parce que les intrants et les coûts de gestion augmentent à chaque étape du processus de dégradation. Les étapes et les mesures de gestion sont décrites ci-dessous.

**Tableau 3** : Dépendance de certains pays à l'eau de surface provenant de l'extérieur (d'après Gleick, 1993).

Pays	% de l'écoulement total provenant de l'extérieur de la frontière	Rapport entre l'approv. externe et interne en eau*
Egypte	97	32,3
Mauritanie	95	17,5
Botswana	94	16,9
Gambie	86	6,4
Congo	77	3,4
Soudan	77	3,3
Niger	68	2,1
Sénégal	34	0,5

\* L'approvisionnement "externe" représente l'écoulement provenant de l'extérieur des frontières nationales; l'approvisionnement "interne" comprend l'écoulement moyen des cours d'eau et des aquifères dû aux précipitations dans le pays.

Pour les effets climatiques, des modèles semblables peuvent être construits afin de conceptualiser les conséquences possibles et les points d'intervention.

La superficie totale des 10 bassins hydrographiques énumérés au tableau 2 (y compris le lac Tchad) est supérieure à 350 000 km<sup>2</sup>, et les territoires arrosés comprennent 33 pays du sud du Sahara ainsi que

l'Égypte. D'après Sharma *et al.* (1996), peu de bassins hydrographiques transfrontaliers dans la région sont réellement gérés conjointement. Leur gestion efficace nécessiterait des traités, un engagement politique, des institutions, une capacité, des données et des ressources financières. Il arrive souvent que les intérêts nationaux ne tiennent pas compte des objectifs régionaux. En raison du grand nombre de pays arrosés par plusieurs lacs et cours d'eau, la coopération régionale est très

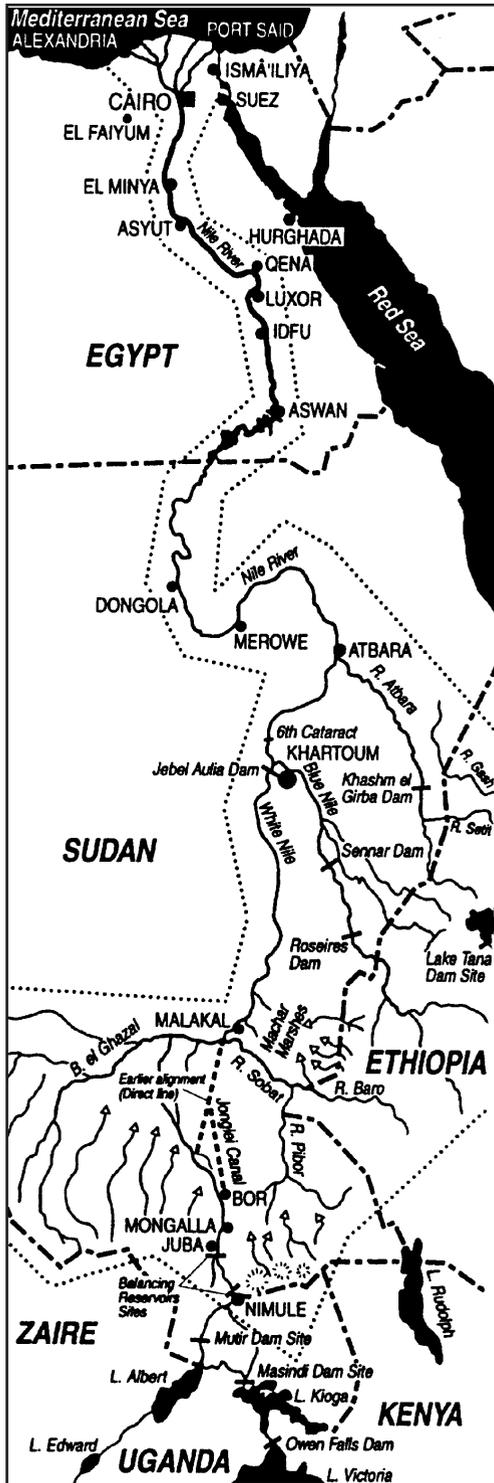


Tableau 4 : Caractéristiques hydrologiques des bassins du Zambèze et du Nil (tirées de Riebsame *et al.*, 1995).

Paramètre	Zambèze	Nil	Nil bleu
Longueur (en km)	2600	6500	1000
Superficie (en km <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	1330	2880	313
Débit (en m <sup>3</sup> /sec)	4990	2832	1666
Débit (en 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /an)	157	89	53
Débit spécifique (l/sec-km <sup>2</sup> )	3,8	1,0	5,3
Ecoulement (R) (en mm)	118	31	168
Hauteur de pluie (P) (en mm)	990	730	784
R/P	0,12	0,04	0,21
PET/P	2,50	5,50	1,80

Note : PET = Evapotranspiration potentielle.

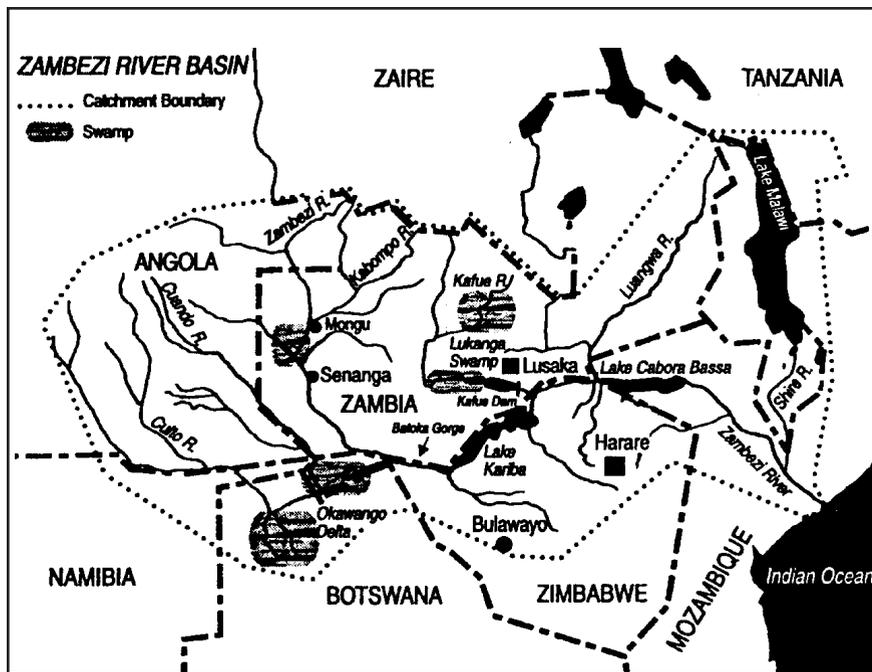


Figure 9 : Bassins du Nil et du Zambèze. Dans le cas du Zambèze, les effets des changements climatiques ont été prévus pour le bassin en haut du lac Kariba en tenant compte du barrage actuel du même nom et d'un projet de barrage et de réservoir dans la gorge de Batoka (Riebsame *et al.*, 1995).

difficile. Le tableau 3 montre la dépendance de certains pays à l'eau de surface provenant de l'extérieur. Une action coordonnée de la part des pays africains permettra de savoir si les pays de la région peuvent bien s'adapter aux changements dans les caractéristiques hydrologiques des cours d'eau et des lacs de l'Afrique.

Les principaux effets des changements climatiques sur les réseaux hydrographiques africains se traduiront par des changements dans le cycle hydrologique, le bilan de la température et les précipitations. Une étude des effets des changements climatiques sur les bassins du Zambèze et du Nil, fondée sur la publication de Riebsame *et al.* (1995), est présentée ci-dessous. Le bassin du Zambèze a fait l'objet d'autres publications, entre autres par Calder *et al.* (1996), Pinay (1988), Balek (1977), Conway et Hulme (1993), Vorosmarty et Moore (1991), Vorosmarty *et al.* (1991) et du Toit (1983).

Les bassins du Nil et du Zambèze sont respectivement les deuxième et quatrième plus importants réseaux géographiques de l'Afrique; leurs principales caractéristiques géographiques sont indiquées dans la figure 9, et leurs principales caractéristiques hydrologiques figurent au tableau 4. Comme le Nil et le Zambèze ont tous deux une faible efficacité d'écoulement et un indice de sécheresse élevé, ils sont très sensibles aux changements climatiques. Des analyses ont montré que le Nil était très sensible, et que le Zambèze l'était assez. Même si la gravité des effets des changements climatiques dépendait surtout de l'ampleur des changements, la différence de sensibilité hydrologique des bassins serait également importante. Le Nil et le Zambèze sont particulièrement sensibles au réchauffement du climat : dans ces bassins, étant donné que l'évaporation joue un important rôle hydrologique, l'écoulement diminue même lorsque les précipitations augmentent.

L'écoulement du Nil a produit des réactions impressionnantes. Riebsame *et al.* (1995) concluent que, en dépit d'ajustements potentiels, les débits du Nil dans tout le bassin sont extrêmement sensibles aux changements dans la température et les précipitations. Pour les débits futurs possibles, les scénarios des MCG fournissent des chiffres très différents allant d'une augmentation de 30 % à une diminution de 78 %. L'Égypte et le Soudan ont conclu des accords officiels au sujet de la répartition des débits du Nil actuellement et en cas d'améliorations futures. Toutefois, pour des réductions supérieures à 20 %, la capacité de gestion prévue par les accords serait dépassée, et il en résulterait d'importantes répercussions sociales et économiques.

Les mesures d'adaptation aux changements climatiques comporteraient des changements dans la répartition de l'eau ou des modifications structurales dans le bassin supérieur et inférieur. En raison de la grande incertitude des projections concernant les changements climatiques, il est très difficile pour les gestionnaires des bassins d'adopter une politique d'intervention. Pour aider à diminuer cette incertitude, il faut s'efforcer de modéliser le climat régional du Nil. Il est encore prudent de faire des investissements de capitaux en diminuant la demande d'eau grâce à une gestion plus efficace de l'irrigation, ce qui est une mesure très judicieuse d'adaptation aux changements climatiques.

Pour le Zambèze, le régime d'écoulement saisonnier est demeuré relativement inchangé; toutefois, le fleuve était sensible aux fluctuations temporelles de la saison des pluies. Il y a eu un déficit net dans les

#### Encadré 5. Les lacs africains et les changements climatiques

Les Grands lacs africains sont sensibles à la variation du climat pendant des décennies et même des millénaires (Kendall, 1969; Livingstone, 1975; Haberyan et Hecky, 1987). Le lac Victoria (le deuxième plus grand lac d'eau douce au monde, en superficie), le lac Tanganyika (le deuxième lac le plus profond au monde) et le lac Malawi étaient des bassins fermés pendant de longues périodes du pléistocène et de l'holocène (Owen *et al.*, 1990). Le niveau des lacs Malawi et Tanganyika était de plusieurs centaines de mètres inférieur à ce qu'il est actuellement, et le lac Victoria était complètement à sec. Aujourd'hui, ces lacs sont presque fermés, et leur bilan hydrologique est fragile. Seulement 6 % de l'eau qui entre dans le lac Tanganyika en ressort par son émissaire naturel (qui était totalement bouché lorsque ce lac a été exploré par les Européens) (Bootsma et Hecky, 1993).

L'élévation de la température augmenterait les pertes par évaporation, notamment si les chutes de pluie diminuaient. De faibles diminutions (de 10 % à 20 %) des précipitations moyennes annuelles pendant de longues périodes occasionneraient la fermeture de ces bassins même si la température ne changeait pas (Bootsma et Hecky, 1993). La température des régions tropicales augmente; dans les années 80, elle était de 0,5 °C plus élevée qu'il y a un siècle, et de 0,3 °C plus élevée que pendant la période de 1951 à 1980. En même temps, au début des années 90, la température de l'épilimnion du lac Victoria était de 0,5 °C plus élevée que dans les années 60 (Hecky *et al.*, 1994). Bien que les scénarios climatiques actuels prédisent seulement de faibles augmentations de la température des régions tropicales, de minimes changements dans la température et le bilan hydrique peuvent considérablement modifier les niveaux d'eau ainsi que les régimes de mélange et la productivité.

Les dernières données sur la température et les précipitations ainsi que les récentes simulations des MCG indiquent un accroissement de l'aridité dans les régions tropicales (Rind, 1995). Si la température de l'air augmentait de 1 à 2 °C, il pourrait en résulter un important accroissement de la stabilité de la stratification dans les lacs Tanganyika et Malawi, qui sont stratifiés en permanence. Leurs eaux profondes sont toujours chaudes, mais comme la différence de température entre ces eaux et les eaux de surface est inférieure à 1 °C pendant les saisons chaudes, il existe une différence de densité permanente qui empêche l'eau de bien circuler. On a dit que les eaux profondes du lac Tanganyika étaient une "relique" de l'hypolimnion qui s'est formé au cours des 1000 dernières années alors que le climat était plus froid (Hecky *et al.*, 1994). Depuis lors, le réchauffement a créé un obstacle à la circulation verticale. Un réchauffement accru pourrait renforcer cet obstacle, et les eaux hypolimniques riches en éléments nutritifs se mélangeraient donc moins avec les eaux de surface, qui en contiennent peu. Ce mélange permet d'exploiter l'une des pêcheries d'eau douce les plus productives au monde (Hecky *et al.*, 1981).

Source : GIEC 1996, Groupe de travail II, encadré 10-1.

débites en raison de l'augmentation des températures à la surface, qui a occasionné un accroissement du taux d'évapotranspiration. A Kariba, la production d'hydroélectricité a légèrement diminué dans les scénarios du GISS et du GFDL, mais elle a faiblement augmenté dans ceux du UKMO et du GISS, où la température était moins élevée. Le caractère saisonnier du débit a eu des effets plus marqués sur la production, qui dépend de la capacité des barrages de stocker l'excès d'eau et de régulariser les débits. Si le climat changeait, moins d'eau entrerait dans le lac Kariba, ce qui réduirait probablement les populations de poissons. Pour l'adaptation au changement climatique dans le cas du bassin du Zambèze, on a dit qu'il fallait mieux planifier les aménagements hydrauliques en tenant compte des relations hydrologiques réciproques de l'ensemble du bassin, qui traverse plusieurs frontières nationales. Cette nécessité pour les pays de transcender leurs propres besoins est un facteur important de la mise en œuvre des diverses mesures d'adaptation.

Le Niger coule sur une distance de 4000 km dans l'ouest de l'Afrique, et son bassin englobe environ un tiers de la sous-région comprenant la Guinée, la Côte d'Ivoire, le Mali, le Burkina Faso, le Niger, le Bénin, le Nigéria, le Cameroun et le Tchad. La pression exercée sur ce bassin hydrographique est intense. Par exemple, la sécheresse qu'a connue le Sahel dans les années 70 a grandement nui à la production d'hydroélectricité de 1973 à 1977 par le barrage de Kajji, au Nigéria, construit sur le Niger. Il en est résulté pour les consommateurs du Nigéria, du Mali, du Bénin et du Tchad une grave pénurie d'énergie.

On se demande si les effets nuisibles des changements climatiques sur l'approvisionnement en eau ne seront pas plus importants (et les gains, plus faibles) que ceux signalés dans les évaluations actuelles. Dans bon nombre de MCG, on n'a pas explicitement tenu compte de l'influence de la sécheresse persistante dans l'évaluation des effets du réchauffement de la planète. En particulier, les modèles de climat à l'équilibre

commencent chaque année sans avoir en mémoire l'appauvrissement en eau souterraine qui s'est produit pendant une année précédente. Pourtant, l'accumulation d'années de sécheresse successives peut souvent avoir des effets dévastateurs sur les eaux souterraines, l'écoulement, le stockage dans les réservoirs, les activités agricoles marginales et la qualité de l'eau (Cline, 1992).

En dépit des changements climatiques relativement faibles prévus pour les régions tropicales, les lacs qui s'y trouvent peuvent aussi y être très sensibles (voir l'encadré 5). A la suite de quelques saisons seulement de précipitations supérieures à la moyenne, le niveau du lac Victoria (dans l'est de l'Afrique) s'est élevé rapidement au début des années 60 et n'a pas changé depuis (Sene et Pinston, 1994, publication citée dans GIEC 1996, Groupe de travail II, section 10.5.2).

### 3.2.2 Approvisionnement en eau

L'approvisionnement en eau est sans aucun doute très important pour le bien-être social, économique et environnemental de l'Afrique. Actuellement, environ les deux tiers des ruraux et un quart des citadins manquent d'eau potable, et une proportion encore plus élevée de la population vit dans des conditions hygiéniques non convenables. Les changements climatiques aggraveront probablement cette situation. Les pauvres, qui ont le moins accès aux ressources en eau, continueront d'être les plus touchés. La présente section porte principalement sur l'Afrique au sud du Sahara (ASS).

La disponibilité de l'eau dans l'ASS est très variable. Seules les zones tropicales humides du centre et de l'ouest de l'Afrique ont de l'eau en abondance. En outre, cette disponibilité varie considérablement selon les pays, car elle est influencée par des caractéristiques physiques et la configuration saisonnière des précipitations. D'après Sharma *et al.* (1996), huit pays subissaient un stress hydrique ou manquaient d'eau en

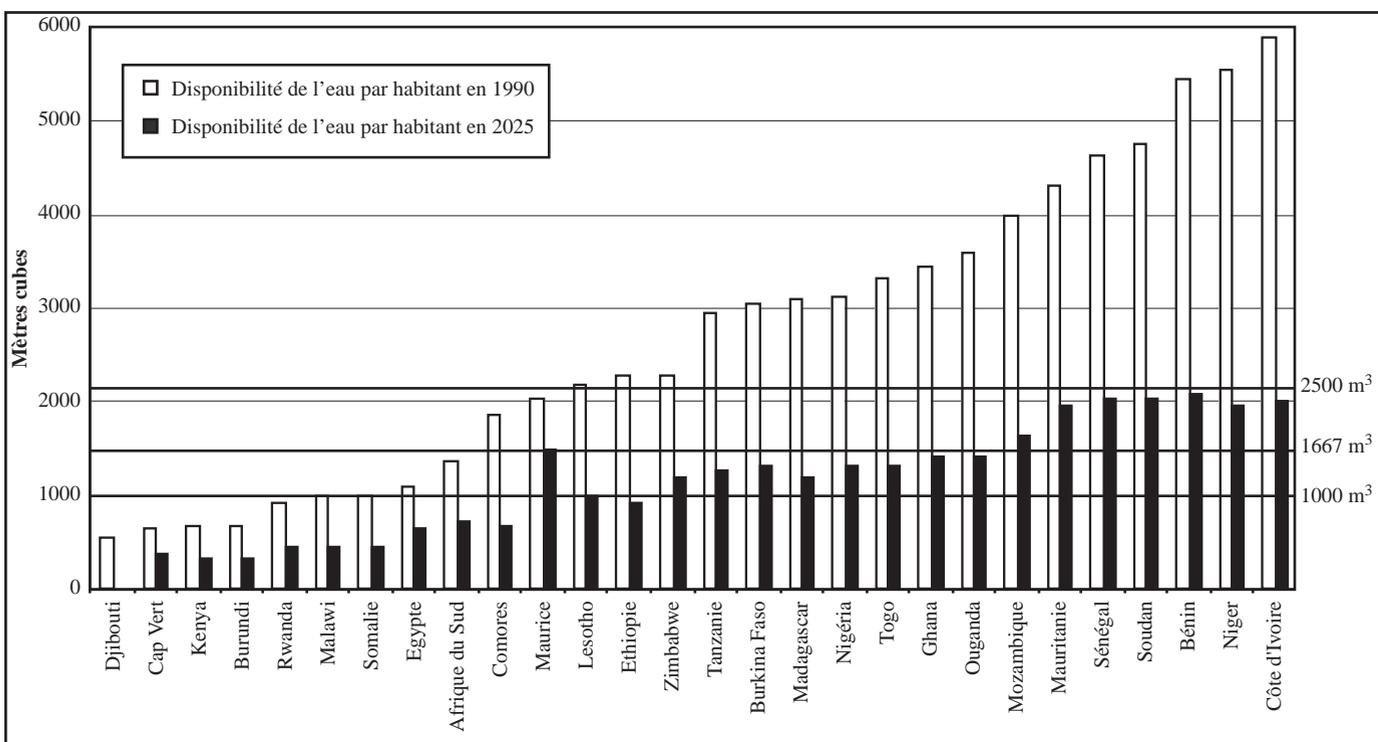


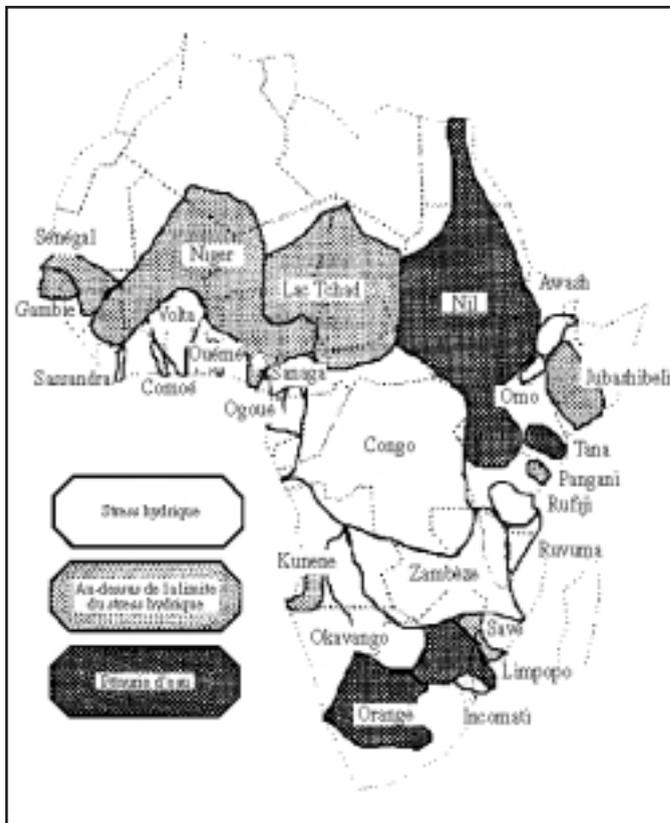
Figure 10 : Pénurie d'eau dans les pays africains (Sharma *et al.*, 1996).

1990; cette situation s'aggrave en raison de la croissance rapide de la population, de l'expansion de l'urbanisation et de l'accroissement du développement économique. Il est possible que, d'ici l'an 2000, environ 300 millions d'Africains vivront dans un milieu où l'eau sera rare. Qui plus est, d'ici 2025, le nombre de pays subissant un stress hydrique s'élèvera à 18, ce qui touchera 600 millions de personnes (Banque mondiale, 1995b). La figure 10 indique de quelle façon les changements dans la population pendant la période de 1990 à 2025 feront à eux seuls passer les pays d'un excédent à une disette d'eau; la limite pour la disette d'eau par habitant a été fixée à 1000 m<sup>3</sup>/an. Les statistiques concernant la pénurie d'eau peuvent aussi être reliées aux dangers qui menacent les ressources internationales en eau. Huit bassins hydrographiques font déjà face à un stress hydrique, et quatre sont menacés par une pénurie d'eau (figure 11); la figure 12 indique quelle sera la disponibilité de l'eau en 2025 (compte tenu de l'accroissement de la population seulement) (Sharma *et al.*, 1996).

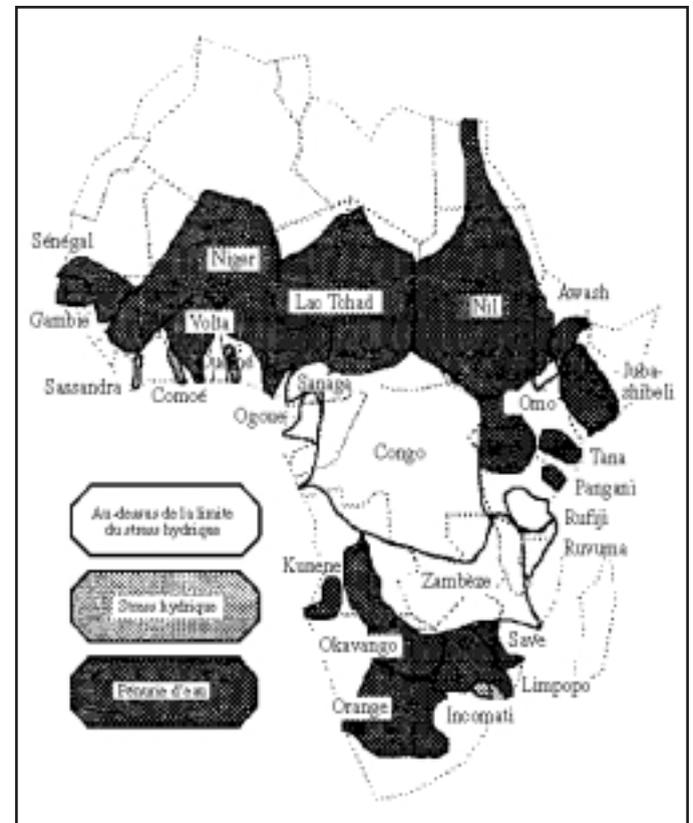
Au cours des années 80 et 90, la sécheresse a très durement touché les régions urbaines et l'industrie. La plupart des industries du sud de l'Afrique pour qui l'eau est essentielle ont été forcées de réduire leurs activités lorsque le niveau des réservoirs est devenu critique. L'industrie des boissons, qui utilise beaucoup d'eau pour laver les bouteilles, a dû remplacer ces dernières par des canettes en aluminium non retournables (qui exigent moins d'eau). Les industries de la construction et du textile du Botswana ont dû diminuer leur effectif lorsque leurs opérations ont été réduites en raison d'une grave pénurie d'eau. Bulawayo, le cœur du secteur industriel du Zimbabwe, a connu des problèmes semblables; des compagnies ont presque été forcées de quitter la ville et de déménager

ailleurs en raison d'un manque d'eau, et la moitié des petites entreprises se sont écroulées. En Afrique du Sud, au Swaziland et au Zimbabwe, les industries de la canne à sucre ont presque cessé leurs activités en raison d'un manque d'eau pour l'irrigation. En 1996-1997, le rationnement de l'énergie au Kenya à la suite d'une sécheresse a gravement perturbé les industries manufacturières et mécaniques du pays (PNUE, 1997).

Malheureusement, peu d'évaluations ont été effectuées pour déterminer de quelle façon les changements climatiques ou les réactions à ces changements pourraient compromettre la biodiversité des milieux humides locaux. D'après les scénarios de changements climatiques établis par Greco *et al.* (1994), il pourrait y avoir, au cours des 30 à 60 prochaines années, moins d'eau dans la plupart des importants cours d'eau du Sahel, à l'exception peut-être de ceux qui se jettent dans le lac Tchad. Il en résulterait une diminution de la quantité d'eau disponible dans les vastes milieux humides riverains de ces cours d'eau, à moins que la gestion du débit sortant des barrages ne soit modifiée. Quant aux milieux humides moins importants, leurs caractéristiques hydrologiques changeront non seulement en fonction des changements climatiques, mais aussi selon qu'ils seront alimentés par des eaux de surface ou souterraines et dans la mesure où leurs bassins versants seront cultivés. La perte de milieux humides de moindre importance peut mettre en péril les populations locales de tortues et de petits oiseaux (Gibbs, 1993), mais les taxons qui sont facilement transportés sous forme d'adultes, d'œufs, de spores, de larves, etc. seraient moins menacés (Magadza, 1991). Si les milieux humides de l'est du Sahel s'assèchent, les oiseaux relativement mobiles qui comptent sur cet habitat pourraient en trouver plus à l'est (c'est-à-dire au Niger, dans le nord du Nigéria et du Cameroun, et au Tchad).



**Figure 11** : Disponibilité de l'eau dans les réseaux hydrographiques (1995) (Sharma *et al.*, 1996).



**Figure 12** : Disponibilité de l'eau dans les réseaux hydrographiques (2025) pour les niveaux de population prévus (Sharma *et al.*, 1996).

**Tableau 5 : Indicateurs des ressources en eau pour les pays au sud du Sahara (d'après Sharma et al., 1996)**

	(1) % de la population ne manquant pas d'eau potable	(2) % de la popul. vivant dans des conditions hygiéniques	(3) Superficie irriguée en % des terres irrigables	(4) Autorité habilitante	(5) Capacité de gestion des ressources	(6) Loi sur les ressources en eau	(7) Politique sur les stations de traitement de l'eau
<b>Sud de l'Afrique</b>							
Afrique du Sud				Elevé	Moyen	Existante	Existante
Angola	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Existante	Inexistante
Botswana	Elevé	Elevé	Faible	Elevé	Elevé	Existante	Existante
Lesotho	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Elevé	Existante	Existante
Malawi	Moyen	Elevé	Faible	Elevé	Moyen	Existante	Existante
Mozambique	Faible	Faible	Faible	Faible		Existante	Inexistante
Namibie		Faible		Elevé		Existante	Existante
Swaziland	Faible	Moyen	Elevé	Elevé		Existante	Inexistante
Zambie	Moyen	Moyen	Faible	Moyen		Existante	Partielle
Zimbabwe	Moyen	Faible	Moyen	Elevé	Elevé	Existante	Existante
<b>Est de l'Afrique</b>							
Djibouti	Moyen	Moyen		Faible	Faible		
Erythrée				Moyen			
Ethiopie	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Existante	Existante
Kenya	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Existante	Existante
Ouganda	Faible	Faible	Faible	Moyen		Inexistante	Existante
Somalie	Faible	Faible	Elevé	Faible	Faible		
Soudan	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Faible		
Tanzanie	Moyen	Elevé	Faible	Moyen	Faible	Existante	Existante
<b>Centre de l'Afrique</b>							
Burundi	Faible	Moyen	Elevé	Faible	Faible		
Cameroun	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Faible	Existante	Inexistante
Comores	Elevé			Faible			
Congo	Faible	Faible	Faible	Moyen	Faible		
Guinée équatoriale	Moyen	Moyen		Faible	Faible		
Gabon	Elevé		Faible	Moyen	Moyen	Existante	Inexistante
Madagascar	Faible	Faible	Elevé	Moyen	Faible		
Maurice	Elevé	Elevé		Elevé	Moyen		
Rép. CA	Faible	Moyen	Faible	Faible	Faible	Existante	Inexistante
Rwanda	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	Faible		
Seychelles	Elevé			Elevé			
Tchad	Faible		Faible	Moyen	Faible		
Zaire	Moyen	Faible	Faible	Faible	Faible		
<b>Centre-ouest africain</b>							
Bénin	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Existante	Inexistante
Burkina Faso	Elevé	Faible	Faible	Elevé	Moyen	Existante	Inexistante
Côte d'Ivoire	Elevé	Elevé	Moyen	Moyen	Moyen	Partielle	Partielle
Ghana	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Existante	Inexistante
Niger	Moyen	Faible	Moyen	Moyen		Inexistante	Inexistante
Nigéria	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Faible	Inexistante	Inexistante
Togo	Moyen	Faible	Faible	Faible			
<b>Ouest de l'Afrique</b>							
Cap-Vert	Moyen	Faible		Moyen		Existante	Existante
Gambie	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	Existante	Existante
Guinée	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Inexistante	Inexistante
Guinée-Bissau	Faible	Faible		Faible		Existante	Inexistante
Libéria	Moyen	Faible		Moyen	Faible		
Mali	Faible	Faible	Moyen	Faible			
Mauritanie	Moyen	Faible	Moyen	Moyen			
Sao Tomé et Principe	Moyen	Faible		Moyen	Faible		
Sénégal	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen		Partielle	Partielle
Sierra Leone	Faible	Faible	Moyen	Faible	Faible		

Notes : Les espaces en blanc indiquent une absence de données. Colonnes 1 et 2 : faible = 0-33 %, moyen = 34-66 %, élevé = 67-100 %. Colonne 3 : faible = 0-29 %, moyenne = 30-60 %, élevée = 61-100 %. La colonne 4 tient compte de la stabilité politique et sociale. La colonne 5 tient compte de l'efficacité de la mobilisation et de l'affectation des ressources intérieures. Dans les colonnes 6 et 7, "partielle" s'entend d'un projet de loi ou de politique, ou d'une loi désuète.

### 3.2.3 Adaptation et vulnérabilité

Les changements climatiques auront divers effets sur les ressources hydriques et la gestion de l'eau en Afrique. En raison de la grande variabilité des scénarios climatiques prévus pour les réseaux hydrographiques les plus vulnérables de l'Afrique (comme celui du Nil), il est difficile de reformuler les politiques en prévision des changements climatiques. Toutefois, il est fortement recommandé d'améliorer l'efficacité des réseaux d'irrigation et de l'utilisation de l'eau parce que la région en bénéficiera, quelles que soient l'importance et la direction des changements climatiques. Des études détaillées sur les réseaux hydrographiques sont essentielles pour fournir des renseignements utiles à la planification et à la négociation dans ce domaine qui continue de créer des tensions entre bon nombre de pays limitrophes.

Sharma *et al.* (1996) ont déterminé dans quelle mesure les pays africains au sud du Sahara avaient pris des engagements et établi des plans à l'échelle nationale pour s'attaquer aux problèmes d'eau en général, et ils ont dressé une liste d'indicateurs de rendement pour ces pays (tableau 5). Les colonnes 4 à 7 décrivent l'environnement habitant, les colonnes 1 et 2, les indicateurs de pauvreté, et les colonnes 1 à 3, les indicateurs de risque, c'est-à-dire les problèmes dont la solution exigera plus d'eau ou une gestion plus efficace des stocks existants. Les points suivants sont extrêmement importants :

- Le degré de stabilité politique, la prise en charge des projets de développement et l'engagement à l'égard de la gestion durable des ressources en eau dans chaque pays.

- La mesure dans laquelle il existe un environnement habitant, c'est-à-dire une gestion transparente et responsable dans le secteur de l'eau, une législation et une politique sans ambiguïté, des stratégies et des programmes d'investissement, une participation des intervenants et la capacité de gérer les ressources en eau à tous les niveaux.
- La mesure dans laquelle il existe des renseignements et des connaissances permettant de mesurer la disponibilité et la qualité de l'eau, la demande des consommateurs et les besoins sectoriels (par exemple, en matière d'hygiène, d'irrigation et d'hydroélectricité).

Il faut aussi connaître les multiples liens intersectoriels se rapportant à l'aménagement des eaux d'un pays (les demandes concurrentielles de l'agriculture, de l'industrie et des municipalités ainsi que la dépendance aux eaux internationales). Les différents efforts et interventions exigés des organismes de financement et des pays varieront dans la mesure où un pays satisfait aux trois critères importants susmentionnés. Les pays qui obtiennent de piètres résultats dans cette analyse seront les plus vulnérables aux changements climatiques parce que leur capacité d'adaptation sera moindre.

## 3.3 Agriculture et sécurité alimentaire

### 3.3.1 Vulnérabilité socio-économique

Bon nombre d'indicateurs du développement humain mettent en évidence la pauvreté et la vulnérabilité relatives de l'Afrique (tableau 6). Comme ils possèdent moins d'avoirs et investissent peu dans

Tableau 6 : Vulnérabilité régionale aux crises alimentaires en Afrique

	Dépenses alimentaires (% de la consommation)	Aide alimentaire (céréales) (en kg par habitant)	Nombre de réfugiés	Alphabétisme des femmes adultes (%)	Mortalité infantile (par 1000 habitants)
<b>Région de l'Afrique*</b>					
Nord	42	18	221 450	45	59
Ceinture soudano-sahélienne	42	13	974 800	17	119
Golfe de Guinée	39	6	819 750	28	109
Centre	39	3	480 500	41	97
Est	37	4	1 408 150	43	102
Océan Indien	57	12	0	73	66
Sud	57	15	1 793 800	53	85
<i>Total</i>	<i>57</i>	<i>10</i>	<i>5 698 450</i>	<i>35</i>	<i>97</i>
<b>Pays de comparaison</b>					
Bangladesh	59	12	245 300	22	108
Thaïlande	30	2	255 000	90	26
Mexique	35	3	47 300	85	35
Grèce	30	-1	1 900	89	8
Royaume-Uni	12	-3	24 600	X	7

\* **Nord** : Algérie, Egypte, Libye, Maroc et Tunisie; **Ceinture soudano-sahélienne** : Burkina Faso, Cap-Vert, Djibouti, Erythrée, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Somalie, Soudan et Tchad.; **golfe de Guinée** : Bénin, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Libéria, Nigéria, Sierra Leone, Togo; **centre** : Angola, Cameroun, Congo, Guinée équatoriale, Gabon, République centrafricaine, République démocratique du Congo, Sao Tomé et Principe.; **Est** : Burundi, Ethiopie, Kenya, Rwanda, Tanzanie, Ouganda; **Océan Indien** : Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles; **Sud** : Afrique du Sud, Botswana, Lesotho, Malawi, Mozambique, Namibie, Swaziland, Zambie, Zimbabwe.

Source : IRM, 1994.

l'agriculture, les ménages ont de la difficulté à satisfaire à leurs besoins essentiels ou à produire des cultures d'exportation spécialisées. Les dépenses des ménages pour l'alimentation sont élevées et représentent en moyenne plus de la moitié du budget annuel. L'Afrique est le continent qui reçoit le plus d'aide alimentaire. De faibles taux d'alphabétisme des femmes et des taux élevés de mortalité infantile caractérisent les populations dont la situation est précaire et chez lesquelles l'infrastructure éducationnelle et sanitaire est insuffisante, deux conditions essentielles à un vigoureux développement rural. Le nombre élevé de réfugiés est le signe d'une instabilité économique et politique potentielle. Les populations vulnérables comprennent les petits exploitants agricoles dont les ressources sont insuffisantes, les pasteurs, les manœuvres ruraux sans terre et les citadins pauvres. Les populations rurales sont directement touchées par les variations climatiques. La diminution des vivres et la

hausse des prix ont un effet direct sur les manœuvres sans terre qui possèdent peu d'économies. Les conséquences pour les agriculteurs et les pasteurs varient en fonction de leur production excédentaire et des termes relatifs de l'échange (par exemple, entre les aliments et le bétail). Au cours de la dernière décennie, une forte hausse de la pauvreté urbaine, résultant entre autres de la stagnation du développement rural et des pressions démographiques élevées, a été signalée. Les citadins pauvres sont indirectement touchés par les changements climatiques en raison de la hausse des prix et de la diminution de l'investissement régional.

### 3.3.2 Cultures vivrières et production de fibres

L'agriculture, à des fins de subsistance et de production commerciale à la fois, contribue largement à l'économie des pays africains. Dans bon

Tableau 7 : Agriculture régionale en Afrique

Région*	Densité de population (pop/km <sup>2</sup> )	Croissance démographique (%)	Terres labourables (%)	Terres irriguées (%)	Rendement moyen des cultures céréalières (kg/ha)	Utilisation d'engrais (kg/an)	Indice de productivité alimentaire (1970 = 100)
<b>Ressources</b>							
Nord	226	2,25	5	27	1973	94	115
Ceinture soudano-sahélienne	106	2,72	4	7	727	5	90
Golfe de Guinée	891	2,83	21	2	892	6	100
Centre	145	2,70	4	1	923	2	87
Est	541	2,88	10	2	1363	12	92
Océan Indien	262	1,96	5	23	1988	140	98
Sud	208	2,56	6	7	929	27	76
Total	253	2,65	6	8	1098	25	92
Bangladesh	9853	2,18	72	31	2572	101	96
Thaïlande	1141	0,92	45	19	2052	39	109
Mexique	491	1,55	13	21	2430	69	100
Grèce	795	0,07	30	31	3700	172	101
Royaume-Uni	2404	0,19	28	2	6332	350	112
	PIB par habitant (\$)	PIB en agriculture (%)	Taux de croissance du PIB (%/an)	Investissement public en agriculture (\$)			
<b>Investissement</b>							
Nord	1285	17	3,60	25			
Ceinture soudano-sahélienne	860	34	2,36	7			
Golfe de Guinée	760	39	1,87	15			
Centre	760	22	2,15	5			
Est	593	47	3,05	13			
Océan Indien	280	22	3,85	6			
Sud	333	21	3,38	7			
Total	355	30	2,75	11			
Bangladesh	205	37	4,20	68			
Thaïlande	1697	13	7,80	78			
Mexique	2971	8	1,50	129			
Grèce	6530	17	1,60	25			
Royaume-Uni	33 850	2	2,80	347			

\* Les régions sont les mêmes que dans le tableau 6.  
Source : WRI. 1994.

nombre de régions rurales, la foresterie est un important complément de l'agriculture, mais les forêts jardinées revêtent moins d'intérêt. Les pêcheries sont importantes dans les zones côtières et les îles, mais elles contribuent peu à l'économie de l'Afrique dans son ensemble. L'agriculture africaine est sensible aux variations climatiques actuelles. Les effets des changements climatiques sont incertains, mais il est probable qu'ils seront nuisibles dans bien des régions. L'avenir de l'agriculture et de la sécurité alimentaire en Afrique dépend des conséquences des changements climatiques pour le continent africain, des réactions indigènes aux changements planétaires, des efforts en matière de développement déployés au cours des prochaines décennies ainsi que des tendances mondiales de la production et de la demande de denrées (qui sont également modifiées par les changements climatiques et les mesures d'intervention employées pour contrer les changements planétaires).

### 3.3.2.1 Etat actuel de l'agriculture

Les économies africaines comptent fortement sur l'agriculture : les terres arables et les pâturages permanents occupent un tiers du territoire de l'Afrique. L'agriculture contribue pour environ 30 % au PIB (voir le tableau 7 et l'annexe D au rapport spécial). Près des trois quarts de la population africaine vit à la campagne, et presque toute la main-d'œuvre rurale est embauchée pour l'agriculture (y compris la production animale, la foresterie et les pêcheries). Toutefois, une grande partie des terres sont de piètre qualité, et moins de 10 % sont cultivées. Au cours des dernières décennies, la production alimentaire annuelle a augmenté de 2,8 % pour les céréales, de 2,9 % pour les légumes ainsi que de 4,0 % pour les racines et les tubercules comestibles, mais la superficie totale cultivée n'a augmenté que de 0,6 %. Bien que les densités de population soient relativement faibles comparativement aux moyennes mondiales, celles de certaines régions rurales sont très fortes, et les taux de croissance démographique ne se sont pas encore stabilisés.

Partout en Afrique, les cultures principales sont les céréales, en particulier le maïs. Le millet et le sorgho sont aussi largement cultivés; la culture du blé et du teff est fréquente dans certaines régions. Presque toute l'exploitation agricole se fait sans irrigation, bien que cette dernière soit importante dans certains secteurs. L'absence d'irrigation (moins de 10 % des terres cultivées sont irriguées) accroît la sensibilité des récoltes aux variations climatiques. Les cultures commerciales sont importantes pour tous les pays, mais leur distribution et leur rentabilité varient. Le café, le thé, les arachides, le cacao, le tabac et l'huile de palme sont cultivés commercialement. Le manioc, les yams, les légumes et les fruits constituent d'autres cultures importantes (du moins pour la consommation domestique). L'agropastoralisme et le pastoralisme à grande échelle sont fréquents dans les régions semi-arides. Le pastoralisme, qui compte sur les herbages et les brouteurs, est particulièrement sensible aux longues périodes de sécheresse pendant lesquelles les pâturages sont épuisés par le bétail et ne se renouvellent pas.

Les régions de l'Afrique possèdent des caractéristiques distinctes. Le nord de l'Afrique et les îles de l'océan Indien comptent sur l'agriculture avec irrigation.

Dans l'ouest de l'Afrique, le gradient de climat, du Sahara à la côte humide, détermine les possibilités d'exploitation agricole. Les populations du Soudan et du Sahel s'adonnent principalement à l'agriculture de subsistance et au pastoralisme; quant à l'agriculture de plantation, elle se fait sur la côte de la Guinée. Les hautes terres de l'est de l'Afrique sont

bien connues pour leur agriculture productive que favorisent deux saisons des pluies, mais dans les basses terres, les précipitations sont irrégulières, et les sols, pauvres. Le café et le thé sont les principales cultures commerciales des hautes terres. Les zones humides et subhumides du centre de l'Afrique, où la sécheresse est rarement un problème, sont propices à la culture des racines et des tubercules comestibles.

La plupart des ménages ruraux s'adonnent à l'agriculture de subsistance, mais il existe de vastes propriétés commerciales partout en Afrique. En outre, chaque région est caractérisée par des valeurs, une culture et des méthodes agricoles qui lui sont propres. Dans bon nombre de cultures africaines, l'identité ainsi que la mesure de la richesse et de la valeur personnelles sont déterminées par l'importance de la propriété foncière, le nombre de têtes de bétail ou la quantité d'aliments produits pour la communauté plutôt que par la richesse monétaire. Ces nuances font de l'agriculture africaine un élément particulièrement important du débat sur les changements climatiques.

La sécheresse prolongée, qui dure une saison ou plus et touche un vaste territoire, constitue la plus grave danger climatique pour l'agriculture, les sources d'approvisionnement en eau et les écosystèmes en Afrique. Si les sécheresses deviennent plus fréquentes, répandues et persistantes, la viabilité des systèmes de culture dans bon nombre de régions subhumides et semi-arides sera fortement compromise. Les milieux propices à la sécheresse ont déjà été peuplés, et les terres, qui étaient très utilisées comme pâturages et longtemps mises en jachère, sont maintenant cultivées en permanence. L'encadré 6 examine la fréquence des sécheresses en Afrique et leurs répercussions.

### 3.3.2.2 Effets des changements climatiques

Des décennies d'expériences sur le terrain, d'analyses statistiques des rendements observés et de surveillance de la production agricole ont permis de bien démontrer les effets des variations climatiques sur l'agriculture africaine. Les précipitations, en particulier la sécheresse saisonnière et la durée de la saison de croissance, sont l'élément climatique le plus important. La répartition des précipitations pendant la saison de croissance peut aussi avoir un effet sur les rendements. Les inondations et les tempêtes locales posent des problèmes mineurs. Les basses températures et la radiation limitent la production dans certaines régions à haute altitude, et le gel est dangereux en Afrique du Sud. Les températures élevées peuvent nuire aux récoltes et à la qualité du rendement dans les régions semi-arides et arides, mais l'eau est plus importante. L'élévation du niveau de la mer et l'érosion du littoral auront un effet sur les eaux souterraines, l'agriculture avec irrigation et les zones côtières à basse altitude dans certaines régions.

Les effets directs de l'enrichissement en CO<sub>2</sub> sur les plantes entraînent généralement une augmentation des rendements et une réduction de l'utilisation de l'eau. Des concentrations plus élevées de CO<sub>2</sub> font augmenter la vitesse de la photosynthèse et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (l'efficacité avec laquelle les plantes utilisent l'eau pour produire une unité de biomasse ou de rendement). Les effets directs sont les plus marqués pour les plantes de type C<sub>3</sub> comme le blé, comparativement aux plantes de type C<sub>4</sub> comme le maïs, le sorgho, le millet et la canne à sucre, qui sont les principales denrées dans une grande partie de l'Afrique au sud du Sahara. L'enrichissement en CO<sub>2</sub> a également un effet sur les mauvaises herbes, dont bon nombre sont des plantes de type C<sub>4</sub> (Ringius *et al.*, 1996). D'après le deuxième rapport d'évaluation

du GIEC, le doublement des concentrations actuelles de CO<sub>2</sub> pourrait faire augmenter la biomasse dans une proportion variant entre 10 % et près de 300 %, et l'augmentation de la CUE pourrait aller jusqu'à 50 % ou plus (GIEC, 1996). Il est donc probable que les effets bénéfiques de l'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub> compenseront certains effets de la diminution des précipitations. Toutefois, l'effet du CO<sub>2</sub> sur les cultures en Afrique, où les éléments nutritifs sont souvent un facteur restrictif et la température des feuilles est élevée, reste très incertain.

Malheureusement, les projections régionales concernant le changement dans les précipitations en Afrique divergent fortement. Par exemple, dans le cas de neuf MCG pour l'atmosphère et l'océan mentionnés à l'annexe B au rapport spécial, les scénarios pour les précipitations estivales au Sahel comportent des variations allant de plus à moins 20 %. Pourtant, les tendances actuelles des précipitations en Afrique indiquent une diminution dans certaines régions. Les derniers scénarios transitoires prévoient des changements de température plus faibles, à l'échelle

#### Encadré 6. Sécheresse en Afrique : Episodes et effets

Depuis son indépendance, l'Afrique a connu d'importantes sécheresses, notamment en 1965-1966, de 1972 à 1974, de 1981 à 1984, en 1986-1987, en 1991-1992 et en 1994-1995 (OMM, 1995; Usher, 1997). Les causes de ces sécheresses sont nombreuses et varient selon les régions, les saisons et les années. Localement, il s'en produit chaque année; à l'échelle du continent, il semble y en avoir une fois (ou, plus récemment, deux fois) tous les dix ans. Les sécheresses importantes sont généralement reliées aux anomalies du phénomène *El Niño*/Oscillation australe. Il paraît prudent de s'attendre à ce que les sécheresses en Afrique continuent d'être un danger climatique majeur.

L'effet potentiel des changements climatiques sur la sécheresse en Afrique est incertain. Sur le plan local, l'augmentation des températures occasionnera probablement une demande accrue en eau. En raison de l'équilibre entre les précipitations et l'accroissement de l'évapotranspiration, les disettes d'eau seront plus fréquentes. Toutefois, la réponse de la végétation à l'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub> et la période des précipitations sont des facteurs très importants. L'accroissement de l'évapotranspiration, conjugué à une diminution des précipitations, même si elle est faible, pourrait faire considérablement augmenter les risques de sécheresse. Une augmentation de la variabilité des précipitations exacerberait les effets de la température. Par exemple, Hulme (1996b) mentionne que, dans le scénario de l'UKTR pour les années 2050, la variabilité d'une année à l'autre augmente d'environ 25 % dans une grande partie du sud de l'Afrique. Toutefois, dans la région, certains secteurs connaissent une diminution de la variabilité qui est du même ordre. L'effet de la température, des précipitations et des concentrations de CO<sub>2</sub> sur la sécheresse saisonnière est probablement moins important que les changements prévus dans la circulation générale qui occasionnent des sécheresses pluriannuelles à l'échelle du continent. Un changement dans la fréquence et la durée des anomalies atmosphériques et océaniques, comme le phénomène *El Niño*/Oscillation australe, pourrait causer des changements semblables à grande échelle dans le système climatique qui régit les précipitations en Afrique. Toutefois, de tels scénarios de changements climatiques ne sont pas encore bien établis pour la planète, et encore moins pour l'Afrique.

Les effets de la sécheresse sont transversaux, et il en résulte de graves répercussions directes sur l'agriculture, les ressources hydriques et la végétation naturelle ainsi que des conséquences indirectes sur la santé, l'économie et les institutions (pour une vue d'ensemble des effets de la sécheresse, voir Benson et Clay, 1994). Ces effets s'aggravent en raison de la dégradation de l'environnement, y compris l'érosion du sol, la pollution de l'eau et le déboisement. Les liens intersectoriels, la diversité de l'économie, le nombre de personnes vulnérables, l'importance de l'utilisation de l'eau pour l'économie, le rôle des systèmes financiers et des entreprises publiques ainsi que les recettes et les dépenses de l'Etat influent sur la gravité et la répartition des effets de la sécheresse. Au cours des années 60, 70 et 80, la sécheresse a entraîné une famine généralisée et des pertes de vies, notamment au Sahel et dans la corne de l'Afrique. Une famine aussi importante a été évitée dans les années 90 grâce à des alertes rapides et des interventions plus efficaces. L'effet global de la sécheresse sur les économies de l'Afrique peut être considérable : en 1992, le PIB du Zimbabwe et de la Zambie a diminué de 8 % à 9 %, et en 1984, celui du Nigéria et du Niger a connu une baisse de 4 % à 6 % (Benson et Clay, 1994).

Dans le sud de l'Afrique, l'épisode de 1991-1992, au cours duquel les pays de la SADC ont connu la pire sécheresse du siècle, montre amplement l'effet de cette catastrophe. Depuis le centre de la Zambie en passant par le centre du Malawi et vers le sud jusqu'au Mozambique, les précipitations saisonnières normales ont diminué d'autant que 80 % (Zinyowera et Unganai, 1993). Pendant la saison des pluies s'étendant d'octobre 1991 à avril 1992, les précipitations ont été peu abondantes dans d'importants secteurs de la sous-région de la SADC et ont diminué de 20 % à 75 % par rapport à la normale. Des températures anormalement élevées (47 °C à la frontière entre l'Afrique du Sud et le Zimbabwe) ont aggravé la sécheresse extrême. La production régionale de céréales a été réduite de 60 % comparativement au rendement prévu. Les réserves de nourriture se sont épuisées, surtout en raison des exportations. En gros, le sud de l'Afrique a dû recevoir une aide alimentaire cinq fois plus considérable que celle fournie à la corne de l'Afrique pendant la famine de 1984-1985. Six différents corridors de transport ont été utilisés pour acheminer cette aide, et 11 pays ont collaboré pour tenter d'atténuer cette crise provoquée par la sécheresse. Même si 1992-1993 et 1993-1994 peuvent être considérées comme des périodes postérieures à la sécheresse, le rétablissement de la sous-région a été lent. Les mauvaises récoltes ont nui à la situation alimentaire, compte tenu des autres sources de revenus et des mesures prises pour contrer la sécheresse. Chez les agriculteurs communautaires du Zimbabwe, le nombre de foyers manquant de sécurité alimentaire a plus que doublé pendant la sécheresse de 1991-1992, notamment dans les zones semi-arides (Christensen et Stack, 1992). Le niveau du réservoir du barrage de Kariba, qui fournit de l'énergie à la Zambie et au Zimbabwe, a tellement baissé que la production d'hydroélectricité est devenue impossible (UICN, 1994). En raison des pénuries d'eau, des pannes de courant et du rationnement de l'électricité, des difficultés d'approvisionnement en matières premières, de la réduction de la demande et de contraintes macro-économiques, la production manufacturière a diminué de 9 % au Zimbabwe, ce qui a occasionné une perte de 6 % des recettes en devises étrangères (Benson et Clay, 1994).

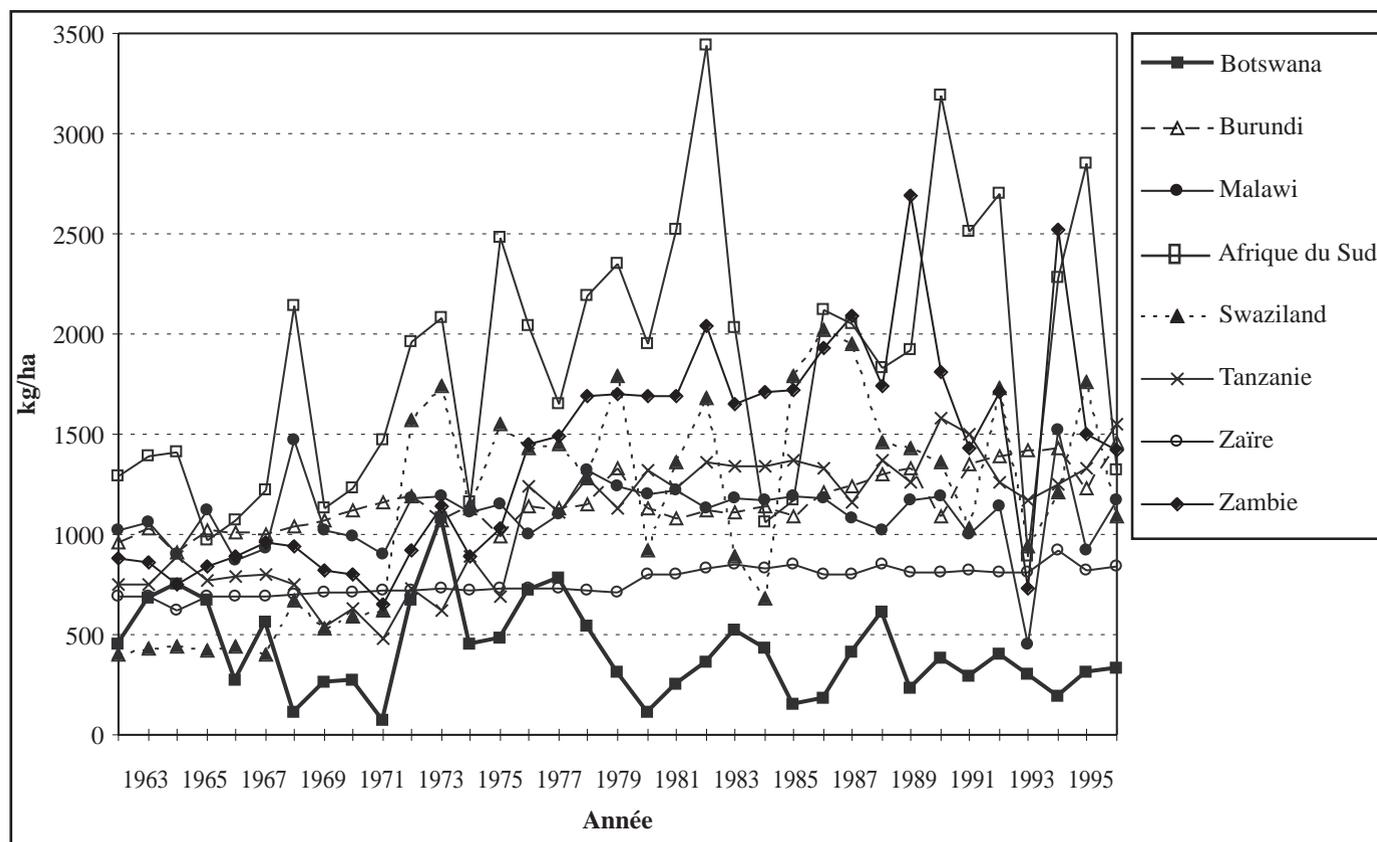


Figure 13 : Récoltes de maïs en Afrique (Hulme, 1996b), d'après les données de la FAO.

mondiale aussi bien qu'en Afrique. En ce qui concerne les précipitations, qui constituent l'aspect le plus important des changements climatiques pour l'agriculture africaine, les scénarios actuels sont donc peu fiables. Toutefois, si l'on conjugue les effets potentiels de l'accroissement des concentrations de CO<sub>2</sub> et des diminutions de température (lorsque ces concentrations auront doublé), les scénarios transitoires portent à croire que les effets prévus pourraient être moins graves que ceux prédits dans les simulations précédentes des modèles de climat à l'équilibre. Néanmoins, même une faible diminution des précipitations peut être importante. En outre, peu de scénarios ont été établis pour le risque de sécheresse et la répartition des précipitations pendant la saison de croissance.

Il est évident que l'agriculture africaine est sensible aux variations climatiques, mais l'écart entre les rendements actuels et potentiels est également important. Par exemple, l'un des graves effets des changements climatiques pourrait être une diminution de 20 % des récoltes de maïs. Pourtant, chez les petits exploitants, les récoltes actuelles ne représentent souvent que la moitié (ou même le dixième) des récoltes possibles. L'évaluation des effets potentiels des changements climatiques ne devrait pas faire oublier les énormes possibilités que comporte l'emploi de systèmes de culture plus productifs en Afrique (voir section 2.3.3.2.3.).

La figure 13 montre la variabilité des récoltes de maïs dans certains pays africains (Hulme, 1996a). Les effets des sécheresses de 1984-1985 et de 1991-1992 sont évidents (voir l'encadré 6). Pour les récoltes annuelles de maïs, l'écart type relatif varie entre 10 %, dans le centre de l'Afrique, et près de 50 %, dans les pays où le sol est plus sec, comme le Botswana et le Swaziland. Les précipitations sont probablement un élément important de cette variabilité, mais les prix et les politiques de mise en

marché y sont pour quelque chose. Le rôle des précipitations dans la productivité agricole a été particulièrement mis en évidence au Sahel ainsi que dans l'est et le sud de l'Afrique pendant la sécheresse qui a duré de 1970 à 1995 (Buckland, 1992). La rareté de l'eau a montré qu'il existait une dépendance généralisée à l'égard de l'agriculture sans irrigation et un manque d'infrastructures qui auraient permis d'irriguer davantage et de fournir d'autres ressources en eau. Par exemple, en 1991 et 1992, le Zimbabwe a dû importer 800 000 tonnes de maïs, 250 000 tonnes de blé et 200 000 tonnes de sucre raffiné et semi-raffiné pour parer à la pénurie causée par une réduction de la production agricole résultant d'une diminution des précipitations (Makarau, 1992). Le rôle de la variabilité climatique dans la sécurité alimentaire en Afrique est étudié depuis longtemps. Au niveau local, des études agroclimatiques comme celles de Akong'a *et al.* (1988), de Downing *et al.* (1990), de Mortimore (1989) et de Sivakumar (1991 et 1993) ont examiné les effets de la variabilité climatique sur l'agriculture et mis l'accent sur les mesures à prendre pour contrer la sécheresse. Des épisodes consécutifs de sécheresse dans les zones subhumides et semi-arides ont causé la perte des récoltes et créé une dépendance à l'égard des secours en cas de famine ou d'autres sources de revenus pour acheter de la nourriture.

Des études nationales de modélisation des récoltes qui traitent en particulier des changements climatiques ont maintenant été réalisées pour de nombreux pays à des fins diverses (Sivakumar, 1991 et 1993; Eid, 1994; Muchena, 1994; Fischer et van Velthuisen, 1996; Makadho, 1996; Matarira *et al.*, 1996; Sivakumar *et al.*, 1996; USCSP, 1996). De récentes études parrainées par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), l'USCSP et d'autres organisations doivent être publiées prochainement.

Quelques études régionales ont été réalisées (par exemple, Hulme *et al.*, 1995; Hulme, 1996a; Ringius *et al.*, 1996), mais aucune évaluation faisant autorité n'a été effectuée à l'échelle du continent. Des études mondiales ont inclus l'Afrique, mais souvent, des données de piètre qualité ou insuffisantes sur chaque région ont été utilisées, et bon nombre de questions essentielles concernant la vulnérabilité et la sécurité alimentaire ont été ignorées.

De façon générale, on peut conclure que les changements climatiques auront des effets dommageables sur certaines parties de l'Afrique tout en améliorant les perspectives de production agricole dans d'autres régions (Downing, 1992, présente des études de cas en ce qui concerne l'agriculture au Kenya, au Zimbabwe et au Sénégal). Le réchauffement du climat modifiera la répartition des zones agroécologiques. Les hautes terres deviendront peut-être plus propices à la culture annuelle en raison de l'augmentation de la température (et de la radiation) et de la réduction des risques de gel. Bien que les cultures de type C<sub>3</sub> réagissent positivement à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> (dont le doublement peut entraîner un accroissement du rendement aussi élevé que 30 %), l'intervalle optimal de température productive est très étroit. Des régions pourraient connaître un stress de température à certaines périodes de croissance, et il faudrait alors modifier les dates de plantation pour réduire ce risque au minimum. L'expansion de l'agriculture est importante dans les hautes terres de l'est de l'Afrique. Par exemple, relativement à un indice de production alimentaire potentielle, les possibilités d'agroécologie dans les hautes terres du Kenya augmenteraient peut-être de 20 % si le climat se réchauffait de 2,5 °C (Downing, 1992). Par contre, la situation dans les régions semi-arides empirerait. Dans l'est du Kenya, ce réchauffement occasionnerait une diminution de 20 % dans la production de calories. Dans certaines basses terres, des épisodes de température élevée peuvent être préjudiciables à des cultures. L'élévation de la température entrave la croissance, et le métabolisme de bon nombre de cultures céréalières commence à se détériorer au-dessus de 40 °C. Burke *et al.* (1988) ont constaté que bien des cultures s'accommodent du stress de chaleur (lorsqu'elles ont de l'eau en abondance) en transpirant davantage pour que la température de leur feuillage demeure dans l'intervalle optimal. Toutefois, comme l'exploitation agricole en Afrique se fait surtout sans irrigation, le stress exercé sur les plantes par la chaleur peut réduire le rendement de plusieurs cultures importantes, comme le blé, le riz, le maïs et les pommes de terre. À l'autre extrémité de la gamme des températures pour les plantes du type C<sub>3</sub>, plusieurs cultures (comme le blé et quelques arbres fruitiers) exigent une période de fraîcheur (une vernalisation). L'élévation de la température pendant la nuit pourrait nuire à la vernalisation des fruits qui exigent de la fraîcheur, comme les pommes, les pêches et les nectarines. Les raisins et les agrumes devraient être cultivés à une plus grande altitude. En général, les cultures de type C<sub>4</sub> tolèrent davantage les variations climatiques comportant un intervalle de température compris entre 25 et 35 °C. Elles se trouvent le plus souvent sous des climats plus chauds et plus secs, et elles sont très vulnérables au stress hydrique.

En Egypte, Eid (1994) a déterminé la sensibilité du blé et du maïs aux températures plus élevées; Strzepek *et al.* (1995; voir aussi Conway et Hulme, 1996) ont publié une évaluation intégrée des répercussions des changements climatiques sur les ressources côtières, l'agriculture et l'eau. Le secteur agricole est très sensible à ces changements, mais différents scénarios donnent des résultats très divergents en ce qui concerne les effets sur l'agriculture avec irrigation.

Au Kenya, une récente étude réalisée par l'*International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) (Fischer et van Velthuizen, 1996) souligne les divers effets des changements climatiques. Le modèle de zone agroécologique de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a été utilisé pour délimiter les régions agricoles et déterminer dans quelle mesure elles conviennent à diverses cultures. L'augmentation de la température et les besoins accrus d'eau pour les plantes occasionneraient de fortes réductions de la capacité potentielle de production agricole, notamment dans l'est et le sud du Kenya. Dans le centre et l'ouest de ce pays, une augmentation de la température accroîtrait la superficie des terres labourables parce que certaines régions situées à plus grande altitude seraient davantage propices à la culture. Cet effet, joint à l'intensification de la culture dans les hautes terres, fait plus que compenser les conséquences du stress hydrique dans les basses terres. Dans les régions humides (où la durée de la période de croissance dépasse 270 jours), la diminution de l'humidité pourrait réduire les contraintes imposées par les ravageurs et les maladies. L'équilibre entre l'accroissement de l'évapotranspiration et les précipitations dans les régions semi-arides détermine l'effet des changements climatiques sur l'agriculture et la sécurité alimentaire dans les basses terres.

À l'aide du modèle hybride ACRU/CERES, l'un des modèles récolte-climat les plus sophistiqués mis au point en Afrique, Schulze *et al.* (1996) ont évalué l'effet des changements climatiques sur le maïs en Afrique du Sud. Les chercheurs ont divisé le territoire de ce pays au relief varié en 712 zones relativement homogènes à chacune desquelles ils ont associé des données sur la végétation, le sol et le climat. Des valeurs quotidiennes (minimales et maximales) pour la température, les précipitations, la vitesse du vent et le rayonnement solaire, fondées sur le modèle CERES utilisé pour le maïs, servent à l'évaluation des récoltes. Une récente analyse de scénario faite à partir du modèle (voir Hulme, 1996a) montre que les récoltes possibles de maïs varieront grandement en Afrique du Sud. Dans le cas de trois scénarios de changement climatique (correspondant au milieu du siècle prochain), les récoltes diminuent dans la zone semi-aride de l'ouest. Toutefois, presque partout au pays, les récoltes possibles augmentent, en général d'autant que 5 t/ha. L'effet d'enrichissement en CO<sub>2</sub> contrebalance les changements relativement modestes dans la température et les précipitations. Dans certaines parties des hautes terres de l'est, particulièrement au Lesotho, l'augmentation de la température a pour effet d'accroître considérablement le rendement des cultures.

Hulme (1996b) présente un aperçu intégré des effets climatiques dans le sud de l'Afrique. Les perspectives agricoles dépendent essentiellement des changements dans les précipitations. Un scénario "sec" indique des conditions moins propices dans les régions semi-arides et subhumides. Si la diminution (ou l'augmentation) des précipitations est faible, des changements moyens ne devraient pas trop nuire à l'agriculture. Toutefois, il faut tenir compte des risques plus ou moins grands de sécheresse.

En définitive, les changements climatiques posent un problème mondial qui est encore plus grave pour les denrées commerciales comme les produits agricoles. Certaines régions, par exemple, peuvent être moins concurrentielles sur les marchés agricoles nationaux et internationaux, ce qui influe sur les exportations et les importations. L'Afrique en particulier peut être sensible aux changements dans les prix et les stocks mondiaux parce que beaucoup de pays comptent sur les importations d'aliments. Plusieurs modèles de commerce mondial ont été testés au

### Encadré 7. Mesures à prendre en cas de sécheresse et de famine

La perte de vies humaines et la perturbation économique causées par des fluctuations climatiques exceptionnelles peuvent être réduites en améliorant les stratégies employées pour solutionner les problèmes domestiques ainsi que grâce à une meilleure préparation, des alertes et des interventions rapides. Les mesures à prendre contre la sécheresse ont tout d'abord pour but d'assurer les moyens d'existence des ménages et d'atténuer les effets de la diminution des précipitations. La famine saisonnière, la pauvreté et les crises domestiques sont périodiques chez les ménages vulnérables partout en Afrique. Il est souvent difficile pour les gouvernements, les donateurs et les organisations non gouvernementales (ONG) de faire la différence entre des conditions chroniques et le début d'une crise lorsqu'une sécheresse (ou une autre catastrophe) se produit. Les récents progrès scientifiques réalisés en vue de comprendre le système climatique et de prédire les sécheresses saisonnières permettent de réduire la vulnérabilité des sociétés humaines (Rasmusson, 1987; Hastenrath, 1995; Bonkougou, 1996). Des systèmes de prédiction des précipitations saisonnières sont déjà opérationnels dans bon nombre de régions de l'Afrique, et ces prédictions valent pour des périodes allant jusqu'à plusieurs mois. Il est aussi possible de faire des prévisions à plus long terme. Toutefois, il reste encore à incorporer les prédictions concernant les sécheresses à la gestion de l'agriculture, de l'eau et de l'énergie en Afrique ainsi qu'aux économies nationales (voir Gibberd *et al.*, 1996).

Pour préparer davantage la population aux sécheresses en Afrique, une multitude d'organisations surveillent maintenant le climat, l'agriculture, la végétation et les ressources, s'occupent de donner des alertes rapides, participent à des recherches multidisciplinaires et encouragent l'établissement de plans de préparation. Des organismes internationaux d'alerte rapide, comme le Programme alimentaire mondial, l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, le *Save the Children Fund*, le *U.S. Famine Early Warning System* et l'Agence européenne pour le développement et la santé, entre autres, font la liaison entre les interventions internationales et les efforts déployés à l'échelle locale et nationale. A la suite des sécheresses dévastatrices des années 70 au Sahel, le centre AGRHYMET a été créé au Niger. La SADC met en œuvre un programme semblable pour la sécurité alimentaire. Des centres de suivi des sécheresses au Kenya et au Zimbabwe ainsi que l'*African Centre for Meteorological Applications in Development* ont été créés dans les années 90. Les ministères nationaux, les universités et les ONG ont également encouragé fortement le suivi des sécheresses, leur atténuation et la prise de mesures pour s'y préparer. En surveillant les indicateurs clés de la production des principales denrées, les réserves nationales et les possibilités d'importation, on peut calculer approximativement et facilement la balance nationale à l'aide de chiffres sur la population et des besoins par habitant (SADC, 1996). La plupart des systèmes d'alerte rapide de famine (SARF) prédisent la défaillance des systèmes d'alimentation (Wilhite et Easterling, 1987). Les mesures de surveillance et d'intervention s'appliquent de plus en plus aux personnes souffrant d'insécurité alimentaire qui s'efforcent de survivre dans le cadre des systèmes d'alimentation plutôt qu'aux disponibilités alimentaires nationales elles-mêmes (Davies, 1996). Bon nombre de SARF surveillent maintenant les déterminants de la production qui sont en amont (comme les précipitations et l'humidité du sol) de même que les indicateurs des résultats en aval (comme les prix du marché pour les aliments et la situation alimentaire des personnes les plus vulnérables). L'évaluation (et la cartographie) de la vulnérabilité est l'un des moyens permettant d'intégrer les dimensions climatiques, productives et socio-économiques de la sécheresse dans le contexte du développement durable. Malheureusement, l'accent est encore souvent mis sur les disponibilités et les crises alimentaires plutôt que sur la recherche de solutions à la famine chronique et l'amélioration des moyens d'existence des populations les plus vulnérables.

Les alertes rapides n'assurent pas des interventions efficaces. En 1991, l'alerte d'une grave sécheresse donnée par les centres de suivi et les services météorologiques nationaux a été largement ignorée par le gouvernement et les organismes donateurs (SADC, 1994). La variabilité des précipitations n'a pas été prise en compte dans la conception des programmes économiques d'adaptation structurelle, où l'accent était mis sur la réforme. De nombreux pays étaient donc peu préparés et ne possédaient pas de programme national de gestion des catastrophes. Pour les programmes de mesures d'urgence, les données statistiques utilisées provenaient de sources différentes et n'ont pas été consignées, ce qui a donné lieu à des conflits et des retards dans les interventions. La réponse à la sécheresse des années 90 au Kenya a été plus positive; un mois après que la sécheresse ne devienne évidente, beaucoup d'aliments ont été importés, et les réserves locales de vivres ont été utilisées (Longhurst, 1992; Downing *et al.*, 1990, décrivent la même réussite en 1984-1985). Des mesures préprogrammées de lutte contre la sécheresse ont également aidé à éviter une crise majeure; dans le nord du Kenya, un système décentralisé d'alerte rapide a été bien mis au point, et les recommandations formulées ont rapidement donné suite à la prise de décisions fermes en vue d'atténuer l'effet de la sécheresse.

Les stratégies locales d'adaptation à la sécheresse et à la famine sont bien mises en évidence dans le delta intérieur du Niger qui traverse le Sahel malien (Davies, 1996). Le Sahel ne connaît pas souvent la famine, mais il n'en est pas exempté. Les périodes de famine ont été plus fréquentes depuis la fin des années 60, mais il y a peu d'unanimité au sujet de leur origine ou du caractère permanent de cette tendance. Depuis les 30 dernières années environ, la sécheresse et la famine font partie d'une spirale descendante d'appauvrissement, de vulnérabilité accrue, d'indigence et parfois de mortalité. A la suite des sécheresses qui ont frappé le Sahel au début des années 70 et vers le milieu des années 80, de profonds changements se produisent dans les moyens d'existence de la population, qui s'adapte pour faire face à une diminution croissante de la sécurité alimentaire. Localement, les modes de subsistance sont devenus moins adaptés et plus sensibles (vulnérables) au stress alimentaire en raison des périodes successives de sécheresse. La nature et l'ampleur de la vulnérabilité varient selon le mode de subsistance. Les famines pourraient être atténuées si les décideurs pouvaient accepter et renforcer les stratégies locales d'adaptation.

Les leçons tirées des mesures prises pour lutter contre la sécheresse en Afrique doivent être largement mises à profit afin de réduire le risque de famine et d'améliorer la sécurité des moyens d'existence. Des progrès dans le domaine des prévisions climatiques et une expérience en ce qui concerne les alertes rapides et les interventions sont essentiels pour mettre fin à la famine en Afrique. Les mesures prises pour lutter contre la sécheresse peuvent aussi donner un aperçu de la capacité d'adaptation aux changements climatiques. La diminution de la vulnérabilité actuelle permet de réduire les risques d'effets catastrophiques. La gestion institutionnelle des dangers climatiques actuels devrait appuyer l'apprentissage de l'adaptation pour parer aux futurs changements climatiques.

moyen de scénarios de changement climatique, et différentes hypothèses concernant la croissance économique, la croissance démographique, la libéralisation du commerce et l'innovation technologique ont été avancées (voir Fischer *et al.*, 1994 et 1996; Rosenzweig et Parry, 1994). Comme il s'agit de simulations à l'échelle mondiale, elles peuvent montrer certains des rajustements dynamiques des prix mondiaux ainsi que des importations et des exportations régionales pouvant résulter des changements climatiques. Toutefois, l'Afrique est mal représentée dans ces évaluations. En général, les scénarios sont des projections tendanciennes qui ne tiennent pas compte de la possibilité d'améliorations considérables de l'agriculture ou du bien-être. En outre, le manque de données uniformes et accessibles sur la sensibilité des cultures au climat en Afrique rend très incertains les effets prévus pour ce continent. Il est essentiel de savoir dans quelle mesure les changements climatiques à l'échelle planétaire peuvent modifier les exportations africaines (ce qui reflète les changements dans l'avantage comparatif) et les importations d'aliments (ce qui est une indication du prix mondial des céréales).

En Afrique, la majorité du bétail est rassemblée en troupeaux dans les régions habitées par les nomades, mais une bonne partie est gardée dans des enclos sur les fermes. Les animaux domestiques, notamment les bovins, seront aussi touchés par les changements climatiques. Par exemple, dans les hautes terres du Lesotho, où le climat est froid, des hivers plus chauds seraient avantageux pour les animaux, dont les pâturages pourraient par contre être encore plus faibles en éléments nutritifs qu'ils ne le sont déjà. Le stress de chaleur pose aussi un problème dans les régions plus chaudes. Les effets directs sur les animaux domestiques des changements dans la fréquence, la quantité et l'intensité des précipita-

tions et dans la disponibilité de l'eau sont incertains. Toutefois, l'aggravation des sécheresses pourrait avoir de graves effets sur la disponibilité de la nourriture et de l'eau, comme ce fut le cas dans le sud de l'Afrique pendant les sécheresses des années 80 et 90 (GIEC, 1996).

Les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes agricoles seront aussi touchés par les changements climatiques, mais peu de recherches quantitatives ont été entreprises à ce sujet en Afrique. Les changements peut-être les plus importants pourraient se produire dans la répartition des populations de mouches tsé-tsé et des vecteurs de maladies humaines (comme la malaria, qui est transportée par des moustiques). Les infestations de mouches tsé-tsé plafonnent souvent là où le bétail peut être tenu à l'écart des secteurs où l'agriculture à grande échelle est en expansion (Hulme, 1996a). La détérioration de la santé humaine aurait un effet sur la productivité de la main-d'œuvre agricole.

Les économies africaines comptent sur les ressources naturelles, et les changements que ces dernières subiraient auraient un effet sur plusieurs secteurs. Il faut connaître les effets intersectoriels des changements climatiques, encore plus peut-être que les conséquences de ces changements dans bon nombre de régions. L'agriculture dépend des ressources en eau, de la santé de ses travailleurs et de la demande de ses produits, et la santé, le revenu et le développement des régions rurales dépendent de la viabilité des économies agricoles. Le rôle de la sécheresse fournit un exemple des interactions possibles. Un faible changement dans le risque de sécheresse ne nuira pas nécessairement beaucoup à l'agriculture aussi longtemps que les vivres et le revenu des ménages pourront durer plusieurs années. Toutefois, un accroissement de ce risque pourrait amoindrir les approvisionnements régionaux en eau, ce qui donnerait

**Encadré 8. Adaptation de la culture du maïs aux changements climatiques au Zimbabwe**

Il existe partout dans le monde de grandes possibilités d'adaptation aux effets des changements climatiques sur l'agriculture. Des simulations faites avec le modèle CERES pour la culture du maïs à quatre endroits au Zimbabwe montrent les conséquences des changements climatiques et l'effet produit par la modification des dates de plantation (Makadho, 1996; voir aussi Muchena, 1994; Hulme, 1996b). Ce modèle simule la croissance et le rendement des cultures à l'aide de fonctions spécialisées pour calculer le taux de photosynthèse, le stade phénologique, l'évapotranspiration et la partition de la biomasse. Les simulations ont été discrètes, et la valeur par défaut de la teneur initiale en eau du sol était la capacité de rétention. Les stress dus à l'azote et les ravageurs n'ont pas été simulés. Les rendements potentiels moyens, simulés à l'aide de données climatiques recueillies pendant 40 ans, varient entre plus de 3,5 t/ha dans la région II (Karoi) et à peine 1 t/ha dans la région V (Beit Bridge). L'écart entre ces rendements potentiels et ceux obtenus par les agriculteurs de la région est considérable. Dans les zones semi-arides (région V), 500 kg/ha serait un rendement supérieur à la moyenne. Le rendement moyen des exploitations agricoles commerciales dans le haut Veldt se rapproche davantage du rendement potentiel en raison de l'application d'engrais. Pour les deux scénarios de changement climatique à l'équilibre, le rendement diminue dans le haut Veldt (Karoi) et la région semi-aride (Beit Bridge), mais il augmente dans les zones médianes (Gweru et Masvingo). Si le début de la saison est rajusté, le rendement diminue dans le haut Veldt et augmente sensiblement dans les zones semi-arides. Par exemple, le maïs planté le 15 octobre à Karoi donne actuellement un rendement de 3,7 t/ha. Si la plantation était retardée au 1<sup>er</sup> novembre en raison des changements climatiques, le rendement serait de 4,6 t/ha, soit une augmentation de 25 %. A Beit Bridge, la date de plantation serait avancée afin d'éviter la température élevée et le stress hydrique au plus fort de l'été.

*Rendement (en kg/ha) calculé d'après les simulations pour le Zimbabwe faites avec le modèle CERES pour le maïs\**

	P Date	Présent	CCC	GFDL
Karoi	15 oct	3727	2643	2940
	1 <sup>er</sup> nov	3654	4641	4630
Gweru	15 oct	3006	5011	5446
Masvingo	15 oct	3006	3493	3097
Beit Bridge	15 déc	1213	713	725
	1 <sup>er</sup> déc	1203	1304	1453
	1 <sup>er</sup> nov	1136	838	1740

\* P Date = date de plantation simulée; CCC = simulation à l'équilibre faite par le MCG du Centre climatologique canadien; GFDL = simulation à l'équilibre faite par le MCG du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.  
Source : Makadho, 1996; voir aussi Matarira *et al.*, 1996.

lieu au rationnement de cette ressource et de l'énergie ainsi qu'à la diminution de l'irrigation. L'accroissement de l'aridité et des périodes prolongées de grave sécheresse pourraient accélérer l'abandon de l'économie rurale et la migration vers les centres urbains.

**Tableau 8 : Ajustements agricoles aux changements climatiques.**

Stratégie et ajustement	Mesures	Coûts	Mise en œuvre	Contraintes et problèmes
<p><b>Gestion des terres</b> Gestion de l'eau (conservation, irrigation, drainage du sol, paillage, mise en jachère); gestion du sol (paillage, travail du sol, rotation des cultures, drainage des terres).</p>	Régulation du bilan hydrique du sol par une irrigation progressive, le drainage, la réduction de l'évaporation et l'écoulement; amélioration de la matière organique, utilisation d'engrais et lutte contre l'érosion du sol.	Augmentation des coûts pour les travaux supplémentaires d'irrigation, l'eau, l'exploitation et l'entretien; un peu plus de main-d'œuvre et de ressources utilisées.	Mise en œuvre graduelle en fonction de l'augmentation de la température, souvent pour lutter contre la sécheresse.	Disponibilité de l'eau (de surface et souterraine), qualité de l'eau, terrain, différentes demandes d'eau, investissement de capitaux et encouragements.
<p><b>Variété végétale et utilisation des terres</b> Cultivars; rotations; remplacement des cultures; superficie cultivée; emplacement des cultures; conversion des cultures en pâturages, ou l'inverse; changements dans la spécialisation; types et nombre de têtes de bétail.</p>	Reconversion des variétés et des cultures ou rotations (variétés dont la maturation est plus longue, qui sont tolérantes à la chaleur et à la sécheresse mais qui exigent moins de vernalisation); système d'exploitation agricole plus souple, prévisions saisonnières et répartition des risques; changement de climat ou de sol pour les cultures (au niveau régional ou sur la ferme); changement de spécialisation (par exemple, terres arables ou pâturages); changement dans l'intensité des ressources (par exemple, taux de chargement).	Coûts entraînés par la production de cultivars, la mise à la reproduction du bétail et la restructuration des différents systèmes d'exploitation agricole; possibilité de réduction au maximum des coûts marginaux s'ils font partie de l'investissement agricole normal.	Coûts par étapes ou marginaux, mais reliés à la vitesse des changements climatiques et aux effets possibles des graves épisodes; période de 10 à 15 ans nécessaire à la production de nouveaux cultivars.	Délai de production des nouveaux cultivars; état propice du sol et conversion d'un terrain à des utilisations agricoles; retard de la réponse aux nouvelles conditions; besoin de renseignements additionnels et de formation; disponibilité du matériel génétique.
<p><b>Gestion des cultures : plantation et récolte</b> Moment de la plantation et de la récolte; plantation de variétés mélangées; profondeur de la plantation; densité de semis.</p>	Plantation hâtive ou retardée en fonction du changement dans la saison de croissance ou pour déplacer la période du stress de chaleur; système de culture souple; plantation plus en profondeur lorsque le temps est plus sec; éclaircissement des cultures dans les années sèches pour diminuer la densité de semis et la concurrence pour l'eau.	Peu de coûts supplémentaires; changements dans les besoins en main-d'œuvre pendant la saison.	Ajustement graduel dans un court délai; peut-être plus de souplesse pour tenir compte des prévisions atmosphériques saisonnières ou mensuelles.	Applicabilité possiblement réduite en raison de la disponibilité des cultivars et des changements dans la saison hivernale, le gel, le sol et l'accessibilité aux champs en raison de l'humidité.
<p><b>Gestion des cultures : fertilité et lutte contre les ravageurs</b> Herbicides; pesticides; application d'engrais; cultures qui fixent l'azote.</p>	Désherbage afin de réduire la concurrence pour l'eau, les éléments nutritifs et la lumière; lutte contre les ravageurs et les maladies qui limitent la croissance des plantes, le rendement ou la qualité du rendement; effets sur l'absorption par les plantes causés par la nature de l'engrais, la quantité utilisée et le moment de l'application.	Augmentation en général des coûts de production; économies considérables possibles pour certains engrais et certaines méthodes de culture, mais accroissement des coûts dans d'autres régions.	Ajustement graduel dans un court délai et réponses rapides, sauf pour les nouvelles cultures et les maladies, les mauvaises herbes et les ravageurs envahissants.	Problèmes de nature toxique et écologique causés par le lessivage des engrais; renseignements sur les maladies, les mauvaises herbes et les ravageurs inhabituels; nouvelles cultures.

Tableau 8 (suite)

Stratégie et ajustement	Mesures	Coûts	Mise en œuvre	Contraintes et problèmes
<i>Ajustements économiques au niveau de la ferme</i>				
Investissement dans l'agriculture (équipement et machinerie); approvisionnements agricoles; économies et stockage; main-d'œuvre et emploi; achats à l'extérieur; consommation alimentaire.	Accroissement de l'investissement dans l'agriculture pour augmenter le rendement; stockage accru d'aliments pour réduire la variabilité de l'approvisionnement; augmentation des économies et des achats pour compléter le stockage; emplois à l'extérieur pour aider à investir davantage et à acheter des aliments; modification de la consommation alimentaire pour faire face aux pénuries saisonnières, à la production de nouvelles variétés, aux crises économiques et aux demandes de main-d'œuvre.	Infrastructure pour le stockage et la commercialisation; coûts de fonctionnement et d'entretien pour le stockage; coûts d'option de l'emploi à l'extérieur; coûts de la nouvelle technologie; coûts supplémentaires pendant les années sèches pour faire des achats, replanter, etc.	Graduelle mais variable pour le rendement; peu d'installations de stockage dans les fermes; changements graduels dans l'emploi, mais soudains à l'occasion d'épisodes exceptionnels.	Restrictions imposées par les ressources financières, la technologie, le type de production agricole, l'excédent, l'accès à l'économie régionale et internationale et le commerce.

3.3.2.3 Adaptation et vulnérabilité

En raison des faibles investissements dans l'agriculture africaine (voir le tableau 7), ce secteur est extrêmement sensible aux fluctuations climatiques, et son état actuel n'est pas encourageant : il est caractérisé par des rendements stagnants, la dégradation des terres et des sécheresses périodiques (encadré 7 propose des stratégies pour faire face à la variabilité climatique et à la sécheresse que l'on connaît actuellement).

En outre, les conflits politiques ont nui à la production alimentaire et rendu le continent extrêmement vulnérable aux changements climatiques. Sans un secteur agricole en bonne santé, il est peu probable que l'Afrique crée des économies diversifiées permettant de s'adapter aux répercussions des changements climatiques. Par conséquent, ces répercussions sur l'agriculture et la sécurité alimentaire en Afrique au cours des prochaines décennies dépendront des progrès réalisés en recherche appliquée et en développement dans le domaine de l'agriculture.

Il faut évaluer les cultures, les systèmes d'exploitation agricole, l'économie et la sécurité alimentaires sur les plans local, national et régional, mais il est difficile d'obtenir des données à ce sujet (GIEC, 1996). Dans certains pays africains, des études de ce genre sont en cours.

L'adaptation aux changements climatiques n'est ni automatique, ni autonome. Les motivations, les contraintes et les domaines d'autorité des décideurs qui s'occupent d'élaborer les politiques, de mettre en œuvre les décisions et de faire face aux conséquences des changements dans les ressources et les dangers doivent être pris en compte (voir Grimble et Chan, 1995). Les principaux intéressés dans l'agriculture africaine sont les consommateurs vulnérables et les personnes qui produisent pour survivre aussi bien que les organisations nationales et internationales chargées de la planification, de la recherche et des secours (Gibberd *et al.*, 1996, en fournissent des exemples dans le contexte des prédictions climatiques saisonnières). Les consommateurs sont les intéressés ultimes qui s'adaptent aux changements climatiques. Le résultat des stratégies d'adaptation aux changements et dangers climatiques peuvent modifier le mode d'existence des groupes particulièrement vulnérables (comme les agriculteurs possédant peu de ressources, les

manœuvres sans terre, les citoyens pauvres, les indigents et les personnes déplacées, et les réfugiés). L'impossibilité de s'adapter à des changements défavorables pourrait entraîner d'importantes privations, des perturbations sociales et le déplacement des populations. A chaque saison, les producteurs s'adaptent aux variations climatiques, mais les changements climatiques les intéressent plus ou moins. Les agriculteurs qui subviennent à peine à leurs besoins essentiels ne possèdent pas les ressources nécessaires pour envisager des stratégies leur permettant de s'adapter aux changements climatiques. Il y a plus de chances que les agriculteurs commerciaux soient reliés à des marchés nationaux et à des industries agroalimentaires internationales et puissent investir dans la technologie agricole. Toutefois, l'adoption de certaines stratégies dépend de la rentabilité, compte tenu des buts à court terme des entreprises. L'un des principaux intervenants dans la mise en œuvre de stratégies tournées vers l'avenir est le monde des affaires, qu'il s'agisse de négociants locaux ou d'organisations internationales pour les denrées et la recherche. Toutefois, les négociants en denrées ne seront probablement pas touchés directement par les conséquences des changements climatiques aussi longtemps que la production est viable et que le commerce est nécessaire ailleurs dans le monde. Des encouragements peuvent être nécessaires pour inciter les industries agro-alimentaires à adopter un plus large horizon de planification ainsi qu'à élaborer et à mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Actuellement, ce sont surtout aux gouvernements nationaux, aux centres internationaux et nationaux de recherche ainsi qu'aux organismes d'aide (notamment les groupes bilatéraux et multilatéraux, bien que certaines ONG internationales et même locales puissent s'intéresser aux politiques d'adaptation) qu'incombe la responsabilité d'élaborer, d'évaluer et de mettre en œuvre des mesures stratégiques. Ces acteurs sont les mêmes qui sont chargés du développement, et il ne devrait pas être difficile d'étendre leur domaine aux changements climatiques à long terme.

De quels moyens les différents intéressés disposent-ils pour commencer à se préparer aux changements climatiques en Afrique? Les conséquences de ces changements pourraient être graves, au moins dans quelques régions et pour certains intéressés. Toutefois, les changements climatiques offrent de nouvelles possibilités susceptibles de promouvoir le développement, ce qui est également important. Le tableau 8

énumère les ajustements agricoles généraux qui se font actuellement en Afrique et qui peuvent permettre de parer aux changements climatiques. Les ajustements sont regroupés en fonction du niveau du secteur agricole où ils pourraient être effectués : la gestion des terres, la variété végétale et l'utilisation des terres, la gestion des récoltes et les rajustements économiques au niveau de la ferme (la planification macro-économique et sectorielle devrait aussi être prise en considération). L'encadré 8 évalue un rajustement de ce genre au Zimbabwe.

En plus d'améliorer l'agriculture au moyen des stratégies existantes, que devrait-on faire encore pour se préparer aux changements climatiques? Ringius *et al.* (1996) présentent des principes généraux d'adaptation pour l'agriculture et l'eau en Afrique (voir aussi Downing *et al.*, 1996). L'anticipation des changements climatiques peut être justifiée dans le cas des projets de longue durée (par exemple, les travaux d'irrigation), lorsque les coûts marginaux de l'adaptation sont faibles ou procurent des avantages quels que soient les changements, pour se protéger contre des phénomènes exceptionnels et prévenir des effets irréversibles (par exemple afin de préserver la biodiversité). Par exemple, l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> est l'effet des changements climatiques qui est prévu avec le plus de certitude. Quels que soient les changements prévus dans la disponibilité de l'eau, il vaut peut-être la peine d'investir dans l'amélioration des plantes et la technologie agricole pour permettre aux nouveaux cultivars de mieux réagir au CO<sub>2</sub>. Sur le plan international, il pourrait être relativement peu coûteux de constituer des réserves alimentaires stratégiques pour parer à des augmentations possibles de la variation de la production locale et nationale, mais cette mesure ne serait peut-être pas justifiée dans la plupart des pays ou dans les banques locales de céréales. Les améliorations considérables déjà en cours dans bon nombre de régions de l'Afrique, y compris une meilleure utilisation des prévisions climatiques saisonnières, pourraient servir à donner une alerte rapide de sécheresse et à préparer les gens en conséquence.

La protection contre les effets irréversibles ou les pertes de précieuses ressources peut être justifiée dans certains cas. Si l'érosion du littoral et l'élévation du niveau de la mer mettent en danger des ressources côtières de grande valeur, la prise de mesures de protection peut donc être rentable. Par exemple, le pompage des eaux souterraines peut être nécessaire pour abaisser le niveau de la nappe phréatique lorsqu'une intrusion saline nuit à l'agriculture dans les terres basses. Il est improbable que des projets de ce genre soient prioritaires dans un avenir prochain, mais la prise de mesures de protection devrait être envisagée pour les nouveaux développements.

La réglementation de l'affectation des ressources et du développement est insuffisante dans une grande partie de l'Afrique. Une refonte institutionnelle et réglementaire peut être nécessaire pour empêcher le développement dans les régions qui deviennent de plus en plus dangereuses (comme les zones côtières) et pour protéger les collectivités vulnérables (par exemple, au moyen d'une restructuration économique). Pour la plupart des régions, il peut être prématuré d'établir des priorités pour le développement en fonction de la potentialité future des terres, mais on devrait encore faire preuve de souplesse à cet égard et tenir compte des nouvelles données. Par exemple, la capacité des groupes communautaires de s'adapter aux changements rapides dans les ressources peut justifier un plus grand appui. Les structures de marché viennent souvent en aide aux cultures à risque élevé au détriment des cultures xérophiles. Les règlements qui restreignent le libre-

échange peuvent accroître la volatilité des marchés locaux et des ressources vivrières en réponse aux variations climatiques.

Si la capacité actuelle d'adaptation est limitée, l'investissement dans la recherche et l'éducation est nécessaire pour trouver de nouvelles solutions et stimuler les changements de comportement en raison des changements climatiques. Par exemple, il faut améliorer la qualité de la recherche pour créer des cultivars qui optimisent les réponses à l'enrichissement en CO<sub>2</sub> ainsi que mettre au point et mettre à l'essai de nouveaux cultivars pouvant s'adapter à diverses conditions climatiques probables. La sensibilisation aux problèmes d'environnement est nécessaire, mais il est probablement trop tôt pour organiser des campagnes portant sur l'adaptation aux changements climatiques. Toutefois, il faut de toute urgence créer une large capacité de s'attaquer aux problèmes d'environnement et de les faire connaître aux intéressés. Cette capacité est encore plus importante pour établir un lien entre la réduction des gaz à effet de serre et les questions de développement durable.

Certaines mesures d'adaptation doivent être prises, mais il peut y avoir lieu de renforcer les institutions, par exemple, pour améliorer la productivité des ressources naturelles, accroître la capacité de réagir aux tensions créées par le développement et aux crises de ressources, et améliorer la qualité de l'environnement. En ce qui concerne la sécheresse, les institutions doivent mieux utiliser les données climatiques pour parer aux risques et réduire la vulnérabilité. Ce sont là des objectifs permanents de développement, mais compte tenu du risque de changements dans les dangers climatiques, une aide supplémentaire est nécessaire.

Ringius *et al.* (1996) évaluent quatre ensembles de stratégies d'adaptation à différents niveaux de planification :

- 1) Au niveau de la ferme, les stratégies d'adaptation comprennent le remplacement des pratiques agricoles (des changements dans la date d'ensemencement, la densité de semis, les cultivars, etc.), la modification des facteurs de production (par exemple, les engrais, la lutte contre les ravageurs et les mauvaises herbes, la sélection des cultures) et le développement agricole (la gestion du sol et de l'eau, qui exige un investissement plus considérable). Les principaux intéressés sont les petits exploitants agricoles. Les fermes commerciales auraient probablement moins besoin d'aide pour appliquer ce genre de stratégies qui, par contre, seraient peut-être moins efficaces pour l'agropastoralisme et le pastoralisme en général. Ces améliorations agricoles au niveau de la ferme peuvent être efficaces et facilement apportées, et leur adoption comporte peu de contraintes importantes.
- 2) Au niveau national, trois stratégies sont généralement proposées :
  - Garder des réserves stratégiques pour permettre au gouvernement (ou aux organismes de commercialisation) de réduire les fluctuations des prix et de mettre en vente des aliments lorsqu'une crise se produit. Par le passé, d'importantes réserves nationales ont été constituées, mais en raison des coûts entraînés, elles ont été réduites en vertu d'accords sur les ajustements structurels.
  - Les marchés et les conditions commerciales pourraient être rajustés afin de faciliter l'adaptation du secteur privé aux changements climatiques et à la variabilité du climat. Cette stratégie pourrait consister dans des stimulants fiscaux pour

les stocks de report ou des obligations pour égaliser les revenus des bonnes et des mauvaises années d'exploitation commerciale. Cette méthode ferait fond sur les efforts actuellement déployés pour réduire les barrières commerciales et comporterait certains ajustements pour tenir compte des changements climatiques.

- Encourager le développement agricole en général réduirait l'écart entre la recherche et la pratique. La nécessité de s'adapter aux changements climatiques pourrait être l'un des arguments en faveur de nouvelles initiatives visant à promouvoir en Afrique la recherche et le développement dans le domaine de l'agriculture.

Les principaux bénéficiaires de ces stratégies nationales d'adaptation sont les consommateurs et les producteurs commerciaux qui comptent sur les marchés pour la consommation alimentaire. Les rajustements du marché pourraient nécessiter des compromis entre les consommateurs et les producteurs ou entre les agriculteurs relativement prospères et les petits exploitants vulnérables qui n'ont peut-être pas accès aux matières premières et aux marchés. Toutefois, ces stratégies offrent d'énormes possibilités de réaliser beaucoup d'avantages (sauf dans le cas des réserves stratégiques, qui sont un fardeau pour l'économie), et, dans l'ensemble, elles seraient des moyens raisonnablement efficaces de se préparer aux changements climatiques.

3) A l'échelle mondiale, certaines politiques de préparation aux changements climatiques peuvent être justifiées :

- Les changements climatiques peuvent nécessiter un accroissement du commerce afin d'éliminer les fluctuations de la production nationale. Maintenir les prix internationaux dans des limites acceptables profiterait aux pays plus pauvres qui n'auraient peut-être pas les moyens d'importer beaucoup d'aliments en période de disette. En prévision d'un changement dans le climat, cette capacité internationale d'empêcher les déficits alimentaires de devenir des problèmes urgents de survie s'inscrirait dans le cadre de buts humanitaires visant à mettre fin à la famine et à alléger la faim.
- Encourager le libre-échange entre et dans les pays devrait stimuler les marchés agricoles dans les régions possédant un avantage comparatif. Cet échange peut être très avantageux pour certains pays et fort coûteux pour d'autres, car les effets des changements climatiques transforment les marchés traditionnels. En principe, le libre-échange permet aux pays de composer plus efficacement avec leur excédent et leur déficit. Comme les fluctuations de l'approvisionnement et des prix sont amorties à l'échelle mondiale, l'éventail des stratégies possibles d'adaptation aux changements climatiques s'en trouve élargi.
- Les mécanismes internationaux créés pour encourager les transferts agrotechnologiques aux pays en développement pourraient mettre l'accent sur les produits alimentaires de base : le blé, le riz et le maïs. Des organismes internationaux pourraient breveter de nouvelles technologies mises au point par des entreprises spécialisées en biotechnologie en vue de leur diffusion et de leur utilisation dans les pays en développement.

4) La diminution du risque de sécheresse et de la vulnérabilité sociétale donnerait une plus grande marge de manœuvre pour parer

aux changements climatiques. Des mesures concertées sont nécessaires dans trois domaines : l'atténuation pour réduire la vulnérabilité, le suivi de la sécheresse et de la vulnérabilité à cette catastrophe, et l'état de préparation pour intervenir efficacement en cas de crise. Des progrès considérables ont été réalisés au cours de la dernière décennie, et des percées pendant les dix prochaines années pourraient grandement récompenser les efforts déployés pour éliminer la famine généralisée et accroître la sécurité des moyens d'existence, au moins en période de sécheresse (voir Downing *et al.*, 1996; Gibberd *et al.*, 1996). Les principaux intéressés devraient être les groupes socio-économiques les plus vulnérables touchés par les crises dues à la sécheresse, mais des acteurs locaux, nationaux et internationaux œuvrant à bien des niveaux sont nécessaires pour mettre en œuvre les mesures de suivi, d'atténuation et d'urgence.

Ces quatre stratégies générales permettraient à l'Afrique de mieux se préparer à affronter les risques climatiques actuels et d'accroître sa capacité d'adaptation aux changements climatiques. Au cours des prochaines décennies, l'Afrique doit réussir à passer progressivement de l'agriculture de subsistance vulnérable à des systèmes adaptatifs et résistants. Si des progrès réels sont réalisés pendant cette période, la plupart des régions et des populations pourront s'adapter aux changements climatiques qui, conjugués à une vulnérabilité continue et aux crises agricoles, menacent la sécurité régionale.

Pour que l'Afrique s'adapte, il est essentiel de promouvoir le développement agricole durable, c'est-à-dire de réduire l'écart entre les rendements théoriques et réels, surmonter les contraintes des marchés et fournir une infrastructure rurale (crédit, moyens de production, transport, etc.) qui accroîtra la capacité du secteur agricole de contribuer au développement économique local et national. Le but général devrait consister à optimiser l'utilisation du climat comme ressource pour l'agriculture en accroissant la capacité des agriculteurs, de l'industrie agroalimentaire et des organisations de s'adapter aux variations et aux changements climatiques. Pour l'instant, il faudrait peut-être viser particulièrement à se préparer aux dangers climatiques en créant des capacités de surveillance pour réduire la vulnérabilité et en sensibilisant davantage le secteur agricole aux prévisions concernant les variations de la production et les crises alimentaires.

### 3.3.3 Pêcheries marines et fluviales

On trouve en Afrique divers habitats lacustres, fluviaux et marins où vivent plus de 800 espèces d'eau douce et marines. Dix régions poissonneuses, qui se trouvent principalement dans les bassins versants actuels, ont été délimitées pour l'Afrique (Lowe-McConnell, 1987). Ces régions comprennent surtout les réseaux hydrographiques du Niger, du Nil, du Congo et du Zambèze, auxquels s'ajoutent plusieurs bassins versants intérieurs reliés aux lacs (Hlohowskyj *et al.*, 1996). C'est dans le réseau hydrographique du Congo (y compris ses principaux tributaires) que l'on retrouve le plus grand nombre d'espèces de poisson, soit 690 (dont 80 % sont endémiques) (Lowe-McConnell, 1987). Les bassins versants lacustres de l'Afrique (notamment les lacs de la Rift Valley) contiennent les assemblages de poissons les plus divers et les plus exceptionnels de ce continent, sinon du monde. Par exemple, dans le lac Malawi, plus de 240 espèces de poisson (qui sont endémiques dans une proportion supérieure à 90 %) ont été identifiées, et l'identification taxinomique de 500 autres espèces ou plus reste à faire (Lewis *et al.*, 1986).

Le poisson compte pour beaucoup dans les disponibilités alimentaires de l'Afrique (Hersoug, 1995). D'après la FAO (1993), les prises totales de poissons pourraient atteindre 10,5 millions de tonnes, soit 7,8 millions dans les pêcheries d'eau salée, et 2,7 millions dans les pêcheries d'eau douce. Dans un pays très peuplé comme le Nigéria, le poisson fournit un tiers des protéines nécessaires (Hersoug, 1995). Par conséquent, toute fluctuation des stocks de poisson influera sur la planification et la gestion. Une réduction de ces stocks aura le plus d'effets sur les pays qui, comme la Mauritanie, la Namibie et la Somalie, comptent fortement sur la pêche et ne peuvent facilement entreprendre d'autres activités à des fins de diversification (Clarke, 1993).

La productivité des marges d'eau douce et salée a été réduite surtout par les activités économiques plutôt que par les variations climatiques. Par exemple, l'ouverture artificielle du cordon sablonneux à l'embouchure du fleuve Côte d'Ivoire afin d'éliminer les mauvaises herbes flottantes a permis à l'eau de mer d'entrer dans le cours inférieur du fleuve et a changé la dominance des espèces (GIEC, 1996, Groupe de travail II, section 16.1.1). Sur le Nil, le barrage d'Assouan régularise si bien les débits que le delta s'est détérioré écologiquement. Les populations locales de sardines qui y foisonnaient autrefois et nourrissaient la région se sont effondrées en raison d'une diminution de la productivité de cette espèce qui dépendait du violent refoulement des eaux de crue et des éléments nutritifs qu'elles transportaient. Au Sahel, la sécheresse accroît la salinité de l'eau du cours inférieur des fleuves sénégalais, mais un barrage construit près de l'embouchure du fleuve Sénégal pour freiner l'augmentation de la salinité et atténuer les graves problèmes que connaissait l'agriculture locale empêche la migration du poisson (Binet *et al.*, 1995).

### 3.3.3.1 Vulnérabilité des ressources halieutiques

La vulnérabilité des pêcheries aux changements climatiques dépend de la nature de ces changements, du type de pêche, des espèces de poisson et de leurs habitats. Les changements dans les conditions climatiques comme la température de l'air et les précipitations influent sur les pêcheries en modifiant la disponibilité ou la qualité des habitats. Plus précisément, les habitats du poisson peuvent être touchés par des changements dans la température de l'eau, la période et la durée des conditions extrêmes de température, l'importance et la courbe des débits annuels, l'élévation des eaux de surface ainsi que par les rives des lacs, les réservoirs et les milieux marins littoraux (Carpenter *et al.*, 1992).

La température annuelle moyenne de l'air est le facteur le plus important qui entre en compte dans la prédiction de la productivité des lacs à toutes les latitudes. Des modifications dans les régimes climatiques saisonniers devraient changer la distribution des populations dans les grands lacs, dont la productivité pourrait augmenter d'environ 6 % si la température annuelle moyenne de l'air augmentait de 1 °C (Meisner *et al.*, 1987; GIEC 1996, Groupe de travail II, section 16.2.1). La productivité des lacs d'eau chaude est généralement plus élevée que celle des lacs d'eau froide, et les lacs d'eau chaude actuels se trouvent dans les régions où la température changera le moins. Il est raisonnable de s'attendre à ce que la productivité globale soit plus élevée dans les systèmes d'eau douce.

Bien que des changements dans la configuration des précipitations et le régime des crues puissent avoir d'importants effets sur les poissons d'eau douce, il est probable que les pêcheries hauturières seront plus touchées par une augmentation de la température (Hernes *et al.*, 1995).

Cette augmentation pourrait occasionner les effets suivants :

- Un changement dans les centres de productivité et la composition des espèces de poisson à mesure que les écosystèmes se déplacent et subissent des changements internes. Par contre, les espèces de poisson d'eau douce, notamment celles qui vivent dans des petits lacs et cours d'eau peu profonds, auront moins de possibilités de s'adapter aux changements en migrant.
- On peut s'attendre à ce que les valeurs économiques chutent jusqu'à ce qu'une stabilité à long terme soit rétablie. De rapides changements résultant du forçage physique favorisent les espèces opportunistes, plus petites et de faible valeur qui produisent beaucoup d'œufs sur de longues périodes.
- En cas de déplacement des écosystèmes, les pêcheries nationales en souffriront s'il n'existe pas de mécanismes institutionnels permettant aux pêcheurs de circuler dans les zones économiques exclusives actuelles et d'en traverser les frontières. Les personnes qui s'adonnent à la pêche de subsistance et d'autres petits exploitants (qui sont majoritaires en Afrique) souffriront probablement beaucoup plus que les autres de ces changements (Everett, 1994).

### 3.3.3.2 Diverses méthodes d'adaptation pour les ressources halieutiques

L'adaptation à la variabilité actuelle du climat peut servir à trouver des moyens de faire face aux changements climatiques. Les stratégies d'adaptation suivantes sont proposées pour l'industrie de la pêche (GIEC 1996, Groupe de travail II, section 16.3.1) :

- Modifier et renforcer les politiques et les organismes de gestion des pêches ainsi que les populations de poisson concernées et les activités de surveillance des prises.
- Préserver et remettre en état les milieux humides, les estuaires, les plaines inondables et les basses terres, qui sont des habitats essentiels à la plupart des pêcheries.
- Coopérer plus étroitement avec les gestionnaires des forêts, de l'eau et d'autres ressources en raison de la forte interaction entre la couverture terrestre et la conservation d'habitats convenables pour le poisson. Il faut examiner jusqu'à quel point les méthodes de gestion employées dans tous les secteurs se rapportant aux pêcheries (par exemple, ceux des ressources en eau et de la gestion du littoral) sont efficaces afin d'assurer que les solutions qui s'imposent soient prises à mesure que le climat change.
- Encourager les pêcheurs à conserver les pêcheries et à se renseigner sur l'environnement.
- Lorsque des espèces s'effondrent et que le déséquilibre des écosystèmes devient évident, les reconstituer à l'aide d'espèces et de souches non préjudiciables à l'environnement à mesure que l'habitat change; il faut prendre bien soin d'éviter les dommages écologiques.
- Mettre en valeur l'aquaculture et le tourisme pour que les collectivités côtières soient plus en mesure de faire face aux incertitudes que comportent les changements climatiques.

Pour réduire la possibilité de perturbation des pêcheries, une stricte surveillance biologique devrait être exercée, et des mesures de réglementation de la pêche devraient être créées et appliquées comme il se doit.

Ces stratégies aideraient à assurer la stabilité des niveaux de remplacement des stocks, compte tenu du stress physique causé par les changements climatiques et d'autres phénomènes naturels, tout en satisfaisant à la demande croissante de poissons et de produits du poisson par une population qui ne cesse d'augmenter.

### 3.3.4 Foresterie de production

Les plantations d'espèces exotiques sont une importante source d'approvisionnement pour les industries africaines du bois et du papier; les espèces indigènes (les feuillus) servent surtout comme bois de chauffage, à la production de charbon et à la construction traditionnelle. Certaines espèces indigènes sont utilisées à des fins très particulières, entre autres pour la fabrication de meubles, d'instruments musicaux, de traverses pour les voies ferrées et de sculptures. Dans ces cas, les peuplements naturels sont exploités en enlevant les gros arbres viables et en laissant les peuplements résiduels se rétablir. Il est probable que les peuplements naturels prendraient 60 ans ou plus avant de produire des arbres de taille exploitable. Par contre, les espèces exotiques peuvent prendre de moins de 10 ans à environ 30 ans pour produire des arbres adultes et à bois de sciage. Les espèces les plus fréquemment introduites sont les pins (surtout *Pinus patula*), les eucalyptus et les cyprès (*Cupressus spp.*).

Dans les années 80, on croyait que les plantations d'espèces exotiques à croissance rapide permettraient de régler le problème de la diminution du bois de chauffage en Afrique. Toutefois, bon nombre de projets ont donné de piètres résultats en raison du mauvais choix des espèces, de l'insuffisance des essais d'espèces, de la caractérisation limitée des sites et de la présence de ravageurs imprévus (comme les chèvres et les termites). La conversion de vastes étendues de boisés, d'arbrisseaux ou de savanes en plantations forestières a eu des conséquences écologiques qui n'ont pas été complètement évaluées pour l'Afrique. Dans d'autres régions, un trop grand nombre de plantations ont occasionné une augmentation de la transpiration et une réduction de l'écoulement, ce qui a réduit les apports spécifiques. Bien qu'il existe des signes de ce processus dans une grande partie de l'Afrique, aucune donnée n'a été recueillie. On a pensé que les eucalyptus en particulier asséchaient le sol et abaissaient le niveau de la nappe phréatique (FAO, 1985).

Dans bon nombre de pays africains, les plantations forestières sont établies dans des zones marginales (pour éviter la concurrence avec l'agriculture), et souvent sur des terrains complexes (le versant des montagnes et les plateaux). L'érosion du sol qui se produit après l'abatage des arbres occasionne des problèmes d'envasement des cours d'eau et des réservoirs, et peut nuire considérablement à la production d'hydroélectricité. Depuis toujours, les plantations ont été aménagées pour maximiser les profits financiers. Les problèmes d'érosion reliés à la coupe à blanc et à la vidange des arbres abattus devront être pris en compte dans la future planification sylvicole, notamment lorsque l'exploitation se fait dans les bassins versants qui sont importants pour l'eau potable et la production d'hydroélectricité.

En raison de l'utilisation généralisée de conifères exotiques, un plus grand nombre de ravageurs forestiers non indigènes, comme les pucerons, ont fait leur apparition (Katerere, 1983). On peut mentionner entre autres le puceron des aiguilles du pin eurasiens, *Pineus pini* (Macquart), le puceron des aiguilles du pin holarctique, *Eulachmus rileyi* (Williams), et le puceron du cyprès européen, *Cinara cupressi*

(Buckton). Le puceron du cyprès a été signalé pour la première fois en Afrique au Malawi en 1986 (Chilima, 1991), et, en 1990, il s'était déjà étendu à plusieurs pays, dont le Kenya (Owuar, 1991). Le puceron attaque les plantations exotiques de *Cupressus lusitanica* ainsi que des espèces indigènes comme *Juniperus procera* et *Widdringtonia nodiflora* (le cèdre de Mulanje), l'arbre national du Malawi. Au Kenya, environ la moitié des quelque 150 000 ha de plantations forestières sont formés de *Cupressus lusitanica*. Le puceron constitue donc un grave danger pour l'industrie du bois (Orondo et Day, 1994). Des données sont en train d'être recueillies afin d'évaluer l'ampleur des dommages et de savoir s'il existe des corrélations avec les facteurs climatiques dans l'est et le sud de l'Afrique (Chilima, *comm. pers.*).

Les plantations sont peut-être les plus vulnérables aux changements climatiques en raison du stress accru causé par la sécheresse, qui offre des conditions idéales aux nouveaux et aux anciens ravageurs et maladies. En quelques années, une espèce importante peut disparaître avant que des mesures correctives ne soient élaborées ou qu'une nouvelle espèce ne soit trouvée pour la remplacer. Il n'existe aucune donnée sur les réponses possibles des plantations forestières à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> en Afrique. Il semble toutefois probable que l'augmentation de la CUE, conjuguée à l'effet de fertilisation du CO<sub>2</sub>, ferait monter en flèche la productivité.

## 3.4 Zones côtières de l'Afrique

Le littoral africain est formé d'une étroite zone côtière basse. Il comprend aussi le plateau continental et les côtes de 32 pays non insulaires. Il est composé de divers écosystèmes, y compris des cordons et des lagunes, des deltas, des montagnes, des milieux humides, des mangroves, des récifs coralliens et des plates-formes. La largeur de ces écosystèmes varie entre quelques centaines de mètres (dans la région de la mer Rouge) et plus de 100 km, notamment dans les deltas du Niger et du Nil. Dans l'ouest de l'Afrique (de la Mauritanie à la Namibie), la zone côtière comprend divers habitats et biotes ainsi que les îles à l'état sauvage de l'archipel Bijagos, le Cap-Vert de même que Sao Tomé-et-Principe, qui sont des pays insulaires, et les îles Sainte-Hélène et Ascension, qui se trouvent au centre de l'Atlantique.

Une grande partie de la population urbaine de l'ouest de l'Afrique vit dans des villes côtières. Au Nigeria, par exemple, environ 20 millions de personnes (22,6 % de la population nationale) vivent dans la zone littorale; au Sénégal, environ 4,5 millions de personnes (66,6 % de la population nationale) vivent dans la zone côtière de Dakar, où se trouvent approximativement 90 % des industries. Au Ghana, au Bénin, au Togo, au Sierra Leone et au Nigéria, la plupart des activités consacrées à la production de biens et services qui sont le pivot de l'économie de ces pays ont lieu dans la zone côtière. Ces zones sont aussi la source d'approvisionnement alimentaire de la région. Les zones côtières et extracôtières de même que les estuaires et les lagunes font vivre des pêcheries artisanales et industrielles qui fournissent plus de 75 % des prises dans la région.

La zone côtière de l'est de l'Afrique, qui comprend des milieux humides littoraux, s'étend du Soudan à l'Afrique du Sud et comprend les îles près des côtes de la Tanzanie et du Mozambique ainsi que des îles océaniques : Madagascar, les Seychelles, les Comores, Maurice et la Réunion. Les zones de la mer Rouge limitrophes du désert contiennent quelques-uns

des plus riches récifs de coraux au monde. Plus au sud, du Kenya au tropique du Capricorne, ces récifs sont bien répartis autour de la plupart des îles océaniques. Ils protègent le littoral contre l'effet des lames et la violence des tempêtes et des cyclones. Bon nombre de villes importantes de l'est de l'Afrique se trouvent à l'intérieur du continent. Toutefois, en dépit de leur faible densité démographique, les villes côtières comme Dar es Salaam et Mombasa connaissent une croissance annuelle de leur population qui s'élève à 6,75 % et 5 %, respectivement (Banque mondiale, 1995a). Les pêcheries et le tourisme côtiers contribuent pour beaucoup au PIB des Etats africains de l'est.

Les pressions démographiques dans les zones côtières et l'exploitation accrue des ressources de ces zones à l'aide de méthodes incompatibles ont amené la dégradation du littoral. L'érosion des côtes, les inondations, la pollution (de l'air, de l'eau et du sol), la déforestation, les intrusions salines et la subsidence sont quelques-uns des problèmes environnementaux qui causent la dégradation d'une grande partie de la zone côtière de l'Afrique. On a déjà signalé que, dans certains secteurs du littoral ouest, les côtes s'érodaient à un rythme de 23 à 30 m par année (Ibe et Quelennac, 1989). En Côte d'Ivoire, des taux d'érosion élevés ont été enregistrés dans les secteurs au large du port d'Abidjan. On estime aussi qu'en 1980 environ 40 % des mangroves du Nigeria étaient disparues (IRM, 1990), et qu'il en a été de même pour quelque 60 % des mangroves du Sénégal en raison de leur défrichement, de l'érosion des côtes ainsi que de l'augmentation de la salinité de l'eau et du sol. La pollution industrielle due aux déversements d'hydrocarbures et à l'élimination de déchets domestiques non traités touche une grande partie de la côte, y compris les lagunes et les zones littorales. La lagune Korle à Accra, de même que les lagunes Lagos et Ebrie à Abidjan, ont toutes été polluées, ce qui a occasionné une perte de ressources halieutiques.

Si les concentrations de CO<sub>2</sub> augmentaient du double, il est prévu que les changements climatiques auraient des effets nuisibles sur plusieurs caractéristiques physiques, écologiques, biologiques et socio-économiques de la zone côtière de l'ouest de l'Afrique et sur les océans adjacents qui subissent actuellement un stress. En outre, les pressions démographiques et les politiques contradictoires d'exploitation des ressources côtières ont également amoindri la durabilité des côtes. Les problèmes d'environnement qui causent la détérioration de la zone côtière augmenteront probablement en raison de l'élévation du niveau de la mer ou de l'augmentation des phénomènes météorologiques exceptionnels (GIEC, 1996).

### 3.4.1 Vulnérabilité des zones côtières aux effets des changements climatiques

Les changements climatiques intensifieront les stress physiques, écologiques, biologiques et socio-économiques que subissent actuellement les zones côtières africaines. La plupart des études actuelles examinent surtout dans quelle mesure l'élévation du niveau de la mer pourrait causer des inondations et l'érosion des terres basses ou accroître les submersions de terrain dues aux ondes de tempête et aux violents orages. Le littoral des pays côtiers de l'ouest et du centre de l'Afrique (par exemple, le Sénégal, la Gambie, le Sierra Leone, le Nigeria, le Cameroun, le Gabon et l'Angola) est formé de basses terres lagunaires susceptibles d'être érodées et qui sont donc menacées par l'élévation du niveau de la mer, notamment parce qu'il existe dans la plupart de ces pays d'importantes villes côtières dont l'expansion est rapide (GIEC, 1996).

La côte ouest de l'Afrique est souvent battue par des ondes de tempête et est actuellement menacée par l'érosion, les inondations et des phénomènes atmosphériques exceptionnels. Les inondations pourraient être particulièrement à craindre (Awosika *et al.*, 1992; Dennis *et al.*, 1995; French *et al.*, 1995; ICST, 1996; Jallow *et al.*, 1996). Des villes importantes comme Banjul (Jallow *et al.*, 1996), Abidjan, Tabou, Grand Bassam, Sassandra, San Pedro (ICST, 1996), Lagos et Port Harcourt (Awosika *et al.*, 1992), toutes situées au niveau de la mer, seraient très vulnérables. Enfin, les tsunamis, les ondes de tempête et les dangers peuvent aussi augmenter et modifier le transport littoral (Allersman et Tilsman, 1993).

La côte est de l'Afrique sera aussi touchée, mais à l'encontre de la côte ouest, cette zone est calme pendant la plus grande partie de l'année. L'élévation du niveau de la mer et les variations climatiques peuvent diminuer l'effet d'atténuation des récifs et des pâtés de coraux qui se sont formés le long d'importantes sections du plateau continental. En raison de la diminution de cet effet tampon causée par les changements climatiques, la côte est aurait plus de chances de s'éroder. L'augmentation des taux de croissance démographique dans les principales villes côtières de l'est de l'Afrique, conjuguée à la probabilité de l'élévation d'un mètre du niveau de la mer, créerait des conditions propices à des conséquences nuisibles pour les économies axées sur le tourisme, l'écologie et les habitats naturels de cette région.

Les publications existantes fournissent des renseignements sur les conséquences de l'élévation du niveau de la mer qui pourraient s'ensuivre pour l'Egypte, le Nigeria, le Sénégal, la Côte d'Ivoire, la Gambie et la Tanzanie.

#### 3.4.1.1 Egypte

Les résultats d'études portant sur divers aspects des effets de l'élévation du niveau de la mer sur la côte égyptienne et les mesures possibles à prendre en conséquence (Broadus *et al.*, 1986; Milliman *et al.*, 1989; Sestini, 1989; Ante, 1990; El-Raey, 1990; El-Sayed, 1991; Khafagy *et al.*, 1992; Stanley et Warne, 1993) indiquent qu'une bonne proportion de la partie nord du delta du Nil disparaîtra sous l'action combinée des inondations et de l'érosion, et qu'il s'ensuivra une perte de terres agricoles et de zones urbaines. En outre, des pertes de terres agricoles résulteront de la salinisation du sol (El-Raey *et al.*, 1995).

D'après Khafagy *et al.* (1992), une élévation d'un mètre du niveau de la mer aurait pour effet d'inonder environ 2000 km<sup>2</sup> de terres dans les zones côtières de la partie inférieure du delta du Nil. On devrait s'attendre à une érosion considérable occasionnant peut-être des pertes de terres pouvant aller jusqu'à 100 km<sup>2</sup>. La superficie labourable qui pourrait devenir inutilisable est estimée très approximativement à 1000 km<sup>2</sup> (100 000 ha). Si la valeur moyenne des terres est de \$US 1,5/m<sup>2</sup>, les pertes financières dues seulement aux inondations dans cette région seront d'environ \$US 750 millions, soit 2500 millions de livres égyptiennes (Khafagy *et al.*, 1992). A l'extérieur du delta, on prévoit que l'érosion sera assez limitée. Si l'érosion moyenne était de 20 m sur 50 % du reste de la côte (en présumant que la valeur foncière est de l'ordre de 5 livres égyptiennes par m<sup>2</sup>), les pertes totales s'élèveraient à environ \$US 60 millions (200 millions de livres égyptiennes).

Pour le gouvernorat d'Alexandrie, deux secteurs économiques essentiels semblent le plus vulnérables : les basses terres et les plages d'Alexandrie

(El-Raey *et al.*, 1995). Les basses terres, sur lesquelles la ville a commencé à se développer, sont vulnérables aux inondations, à l'invasion par les eaux, à l'accroissement de la submersion et à la salinisation que pourrait occasionner une accélération de l'élévation du niveau de la mer. Les deux plages qui existent encore (celles de Gleam et de El Chatby) disparaîtront, même si le niveau de la mer n'augmente que de 0,5 m, ce qui occasionnera des pertes de terres, d'installations et de recettes touristiques évaluées à plus de \$US 32,5 milliards. On estime à \$US 127 millions par année les pertes commerciales moyennes parce que la plus grande partie des installations touristiques comme les hôtels, les terrains de camping et les auberges de jeunesse sont situées à une distance de 200 à 300 mètres du littoral. On pense en général que, en l'absence de mesures de protection et compte tenu des niveaux actuels de population, 8 millions de personnes seraient déplacées en Egypte si le niveau de la mer s'élevait d'un mètre (Broadus *et al.*, 1986; Milliman *et al.*, 1989). Dans le delta du Nil, 4 millions de personnes seraient déplacées, et il en serait de même pour toute la population d'Alexandrie.

#### 3.4.1.2 Nigéria

Si le niveau de la mer montait, des inondations pourraient se produire sur plus de 70 % du littoral nigérien, et les terres à plusieurs kilomètres de la côte seraient ainsi menacées (Awosika *et al.*, 1992). Au Nigéria, les inondations sont le principal danger qui se pose pour au moins 96 % des terres à risque (Awosika *et al.*, 1992; French *et al.*, 1995). Si le niveau de la mer s'élevait d'un mètre, jusqu'à 600 km<sup>2</sup> de terres seraient à risque. Cette région comprend certaines parties de Lagos et d'autres petites villes le long de la côte. Dans le cas de la côte des boues, une élévation de cet ordre menacerait jusqu'à 2016 km<sup>2</sup> de terres à risque. Même si le niveau de la mer ne s'élevait pas à un rythme accéléré, la vitesse actuelle à laquelle les rives s'érodent causerait à elle seule des pertes de terres aussi élevées que 250 km<sup>2</sup> d'ici 2100, ce qui équivaut à un recul moyen du littoral de 3 km. L'érosion menace une plus grande superficie sur la côte méditerranéenne (de 4,6 % à 20,7 %) que dans le delta (de 0,8 % à 3,5 %). Si l'on ne tient pas compte des puits de pétrole dans le delta du Niger, la plus grande valeur à risque se trouve sur la côte de la barrière corallienne et varie d'un peu plus de \$US 1,3 milliard pour une élévation de 0,2 m du niveau de la mer à près de 14 milliards \$US pour une élévation de 2 m. Si l'on tient compte de la valeur des champs de pétrole, la valeur à risque augmente de \$US 81,4 millions à près de \$US 2,2 milliards dans le premier cas, et de \$US 6 milliards à plus de \$US 19 milliards dans le deuxième cas. Sur la côte méditerranéenne, une élévation d'un mètre du niveau de la mer occasionnera une perte de valeur de plus de \$US 18 milliards, surtout en raison des champs de pétrole qui se trouvent dans cette région.

Au Nigéria, une émigration possiblement massive des "réfugiés de l'environnement" se produira. Compte tenu de la population actuelle, plus de 3 millions de personnes seront à risque si le niveau de la mer s'élève d'un mètre. On estime que le nombre de personnes déplacées sera de 0,74, de 3,7 et de 10 millions respectivement pour une élévation de 0,2 de 1 et de 2 m (Awosika *et al.*, 1992).

#### 3.4.1.3 Sénégal

Au Sénégal, une élévation d'un mètre du niveau de la mer pourrait occasionner l'inondation et l'érosion de plus de 6000 km<sup>2</sup> de terres, dont la plupart sont des milieux humides (Dennis *et al.*, 1995). En général, les inondations sont responsables de plus de 95 % des pertes de terres, quel que soit le scénario pris en compte. Dennis *et al.* (1995) ont

montré que, pour une élévation d'un mètre, les bâtiments dont la valeur commerciale totale est d'au moins \$US 499 à 707 millions seraient à risque. Dans ce scénario, les installations touristiques de tout le pays représentent de 20 à 30 % de la valeur totale à risque, et l'on estime que de 110 000 à 180 000 personnes au moins, soit de 1,4 % à 2,3 % de la population du Sénégal en 1990, seraient à risque (Dennis *et al.*, 1995). Presque tous ces gens se trouvent au sud de la péninsule du Cap-Vert, et le gros de la population à risque vit au sud de Rufisque.

#### 3.4.1.4 Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, une élévation d'un mètre du niveau de la mer aura pour effet d'inonder 1800 km<sup>2</sup> de basses terres. On estime que le littoral recule de 4,5 à 7,4 m par année en raison de l'érosion (ICST, 1996). Les infrastructures les plus menacées dans la zone côtière sont le port autonome d'Abidjan (PAA) et le port de San Pedro.

#### 3.4.1.5 Gambie

En Gambie, il est prévu que les inondations feront perdre 92 km<sup>2</sup> de terres à la suite d'une élévation d'un mètre du niveau de la mer. Le littoral reculera probablement de 6,8 m dans les régions escarpées à environ 880 m dans les régions plus plates et plus sablonneuses (Jallow *et al.*, 1996). Pour une élévation d'un mètre du niveau de la mer et en l'absence de mesures de protection, toute la ville de Banjul, qui est la capitale, disparaîtrait au cours des 50 à 60 prochaines années parce qu'elle est en grande partie à une altitude inférieure à 1 m. L'analyse préliminaire des données du ministère des Terres de la Gambie sur la valeur foncière et celle de propriétés représentatives entre Banjul et le Kololi Beach Hotel indique que les pertes encourues seraient d'environ 1950 milliards de dalasis, soit \$US 217 millions (Jallow *et al.*, 1996).

Toutes les structures terrestres situées entre les cimetières de Sarro et de Banjul de même que toute la ville de Banjul disparaîtraient. (Il a été impossible d'attribuer une valeur monétaire à cette perte de lieux publics.) D'après Jallow *et al.* (1996), toute la population de Banjul (42 000 habitants) et les personnes vivant dans la partie est de Bakau et de Cape St. Mary de même que dans les zones marécageuses d'Old Jeswang, du Kanifing Industrial Estate, d'Eboe Town, de Taldning Kunjang, de Fagikunda et d'Aruko seront déplacées.

#### 3.4.1.6 Tanzanie

A l'aide de scénarios comportant des élévations du niveau de la mer de 0,5 et de 1,0 m par siècle, Mwaipopo (1997) a évalué les effets qui pourraient s'ensuivre sur le littoral de la Tanzanie. Les résultats ont indiqué que, respectivement, 2090 km<sup>2</sup> et 2117 km<sup>2</sup> de terres seraient inondées. Une élévation d'un mètre aurait pour effet d'éroder 9 km<sup>2</sup> de terres de plus. Les dommages prévus s'élèveraient probablement à environ 50 milliards de shillings tanzaniens pour une élévation de 0,5 m, et de 86 milliards de shillings pour une élévation d'un mètre.

### 3.4.2 Stratégies et mesures d'adaptation dans la zone côtière

Ibe (1990) a constaté que des mesures techniques de protection à grande échelle étaient peu pratiques en Afrique en raison des coûts élevés qu'elles entraîneraient pour les pays de la région. Des mesures peu coûteuses, à faible composante technologique tout en étant efficaces, comme l'installation de brise-mer perméables, flottants et faits d'un matériau autre que le béton, le surélévement artificiel des plages, et l'installation d'enrochements, d'épis en bois, etc., sont jugées plus raisonnables.

En Egypte, la protection des plages et de l'infrastructure connexe dépend essentiellement de leur remplissage continu et régulier. On estime que le coût total des mesures de protection serait seulement de \$US 21 millions et 42 millions respectivement pour les scénarios comportant des élévations de 0,5 et de 1 m du niveau de la mer (El-Raey *et al.*, 1995). La ville d'Alexandrie est bâtie sur trois crêtes calcaires intermittentes, dont certaines parties sont aplanies et pourraient donc permettre à l'eau montante d'atteindre le sud de la ville, qui est situé dans une dépression de terrain. D'après El-Raey *et al.* (1995), l'entretien des plages en face de ces voies de pénétration à l'aide de matériaux de remplissage aidera à empêcher l'eau de surface d'atteindre le sud de la ville, notamment pendant les ondes de tempête. La construction de petites digues peut aussi être nécessaire.

French *et al.* (1995) sont d'avis que le coût des mesures de protection contre une élévation d'un mètre du niveau de la mer au Nigeria pourrait varier de \$US 558 à 668 millions pour les régions très peuplées (protection des régions importantes), et de \$US 1,4 à 1,8 milliard s'il fallait protéger tous les littoraux contre l'érosion, les inondations et la submersion (protection totale). Pour la "protection des régions importantes", il faudrait alors construire 430 km d'ouvrages longitudinaux et utiliser des matériaux de remplissage, ce qui coûterait près de \$US 200 millions. Pour la protection totale, il faudrait en outre 474 km d'ouvrages longitudinaux dans les eaux côtières abritées et 180 km d'ouvrages littoraux. Compte tenu de la population actuelle, plus de 600 000 villageois pourraient être déplacés (French *et al.*, 1995). Il est peu réaliste de protéger ces villages et les populations à risque du Nigeria contre une élévation d'un mètre du niveau de la mer. Le déménagement est probablement la solution la plus pratique au problème de l'inondation des villages.

Pour le Sénégal, si la solution choisie est la "protection des régions importantes", il faudrait alors, selon Dennis *et al.* (1995), protéger environ 70 km de littoral, soit 14,5 %. La protection totale exigerait une protection sur 2063 km, y compris la construction de 310 km d'ouvrages littoraux et de 1680 km d'ouvrages longitudinaux dans les eaux côtières abritées. Dans ce dernier cas, il en coûterait environ de 2,5 à 4 fois plus que pour la protection des régions importantes.

En Gambie, si le niveau de la mer s'élevait comme on le pense, la meilleure solution (compte tenu de la situation économique de ce pays) consisterait, d'après Jallow *et al.* (1996), à protéger les régions importantes. On prévoit qu'il en coûterait environ \$US 3,1 millions pour la construction d'un ouvrage longitudinal bon marché de 7 km de long, et \$US 3,9 millions pour les revêtements. Environ 16 km de digues sont nécessaires pour protéger contre les crues saisonnières les villages en bordure des milieux humides et des marécages. Pour répondre aux besoins en matière de protection, quatre types de mesures pourraient être appliquées :

- la réparation des épis;
- la construction de brise-mer;
- la construction d'ouvrages longitudinaux peu coûteux;
- la construction de revêtements.

En Côte d'Ivoire, la mesure la plus importante à prendre en cas d'élévation d'un mètre du niveau de la mer au cours du siècle prochain consisterait à protéger les régions importantes, comme les ports d'Abidjan et de San Pedro, l'aéroport, les installations touristiques, les secteurs résidentiels et d'autres villes très importantes du point de vue économique, notamment Grand Bassam, Abidjan, Grand Lahou,

Sassandra, San Pedro et Tabou (ICST, 1996). Les coûts de cette protection n'ont pas été estimés.

Dans le cadre d'une démarche intégrée, il est de beaucoup préférable de prévoir les problèmes reliés à l'élévation du niveau de la mer plutôt que de réagir simplement aux changements lorsqu'ils se produisent, ou après coup (Nicholls et Leatherman, 1994). En outre, une intervention bien planifiée visant à prévoir à temps les effets matériels de l'élévation du niveau de la mer réduira les mauvaises décisions et amoindra les coûts des mesures qui s'imposent, comme la protection (Nicholls et Leatherman, 1995). Les mesures de prévision comprennent la planification de la croissance urbaine, la création de retraits, la préservation des milieux humides et l'atténuation des effets nuisibles qu'ils peuvent subir, la sensibilisation du public et la gestion intégrée des zones côtières.

Les politiques et les règlements sur l'utilisation de la zone côtière pour toutes sortes d'activités humaines devraient tenir compte de l'élévation du niveau de la mer. Des mesures et des règlements concernant l'aménagement matériel et la régie de la construction devraient être créés et appliqués. Quel que soit le but économique utile visé, on devrait éviter d'affecter des terres qui se trouvent dans des zones susceptibles d'être inondées ou submergées. Le public devrait être informé du danger de vivre dans des zones côtières ou des basses terres menacées par l'élévation du niveau de la mer. Renseigner au moment opportun le public sur l'érosion, l'élévation du niveau de la mer et les risques de submersion pourrait être une façon rentable de réduire les dépenses futures. Lorsque des infrastructures côtières, comme des routes, des installations pour le débarquement du poisson et des usines de saurissage, sont approuvées et doivent être construites, les autorités et les propriétaires devraient s'assurer que la hauteur des structures sera légèrement augmentée pour compenser l'élévation du niveau de la mer (Smith et Lenhart, 1996) et les effets d'autres phénomènes connexes. Les personnes vivant dans des régions à risque élevé devraient être encouragées à s'installer ailleurs. Des retraits pourraient servir de zones tampons pour que l'élévation du niveau de la mer ne menace pas le développement côtier. French *et al.* (1995) recommandent que des zones tampons séparent le littoral des nouvelles installations côtières au Nigeria.

Pour s'adapter aux changements climatiques et aux effets nuisibles qui les accompagnent, il faudra connaître la dynamique et les paramètres de ces changements, mais aussi surveiller et analyser les données qui s'y rapportent. Cette stratégie devrait donner lieu à un scénario de changement climatique pour l'Afrique (SCCA), dont les pays pourraient s'inspirer pour élaborer leurs mesures d'adaptation. Actuellement, les scénarios et les mesures d'adaptation aux changements climatiques et à l'élévation du niveau de la mer sont fondés sur les expériences de l'Occident.

Toutes les stratégies, mesures et politiques d'adaptation discutées ci-dessus réduiront les risques que comporte la variabilité actuelle du climat et protégeront contre les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer qui peuvent se produire. Ces mesures devraient être réunies dans un plan de gestion de la zone côtière (PGZC) qui rassemblerait tous les intervenants en vue de la recherche de solutions aux problèmes de cette zone. Le programme devrait consister en un ensemble de principes et de plans qui orienteraient l'utilisation des terres côtières à des fins de conservation, de loisirs et de développement.

**Tableau 9 :** Pourcentage de ruraux et production de bois de chauffage dans certains pays africains

Sous-région	Pays représentatif	Production de bois de chauffage (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Population (10 <sup>3</sup> )	Population rurale (%)
Ouest de l'Afrique	Nigéria	90 699	95.198	77
	Ghana	8493	13.588	68
Est de l'Afrique	Kenya	32 174	20.600	80
	Ethiopie	37 105	43.557	88
Sud de l'Afrique	Zimbabwe	5988	8777	75
	Botswana	NA	1107	81
Nord de l'Afrique	Soudan	18.202	21.550	79
	Egypte	1962	46.909	54
Centre de l'Afrique	Cameroun	9389	9873	58
	Tchad	3137	5018	73

Sources : PNUE, 1990; BAD, PEA, 1996.

### 3.5 Peuplements humains, énergie, industrie et transports

Le mode de répartition des peuplements humains témoigne souvent de l'inégalité de l'abondance et de la disponibilité des ressources entre les régions et dans les collectivités. En Afrique, comme ailleurs, il existe de fortes concentrations de peuplements humains à moins de 60 km des zones côtières, dans les régions où le potentiel économique est élevé, dans les bassins hydrographiques et lacustres, à proximité des principales routes de transport et là où les régimes climatiques sont agréables. Des changements dans les conditions climatiques auraient de graves effets non seulement sur le mode de répartition des peuplements humains, mais aussi sur la qualité de vie dans certaines régions. Par exemple, un climat plus humide sur les côtes ou plus sec dans les hautes terres pourrait donner lieu à des émigrations spontanées pour s'adapter à ces changements. De même, le mode de consommation d'énergie pourrait changer radicalement à la suite des adaptations technologiques aux changements climatiques.

Le GIEC (1996) et la CCNUCC (1992) reconnaissent que les pays en développement auront besoin de plus d'énergie pour satisfaire à leurs besoins en matière de développement économique. Cette augmentation est également nécessaire pour que ces pays puissent subvenir à leurs besoins en développement ainsi que pour répondre aux besoins des populations en plein essor. Ce développement économique se fera dans les secteurs de l'industrie et des transports plus que dans tout autre secteur. On a soutenu que la croissance des secteurs de l'énergie, de l'industrie et des transports était nécessaire pendant que les pays passaient par une période de transition économique parce que leur vulnérabilité s'en trouverait diminuée. Puisque, actuellement, les pays africains comptent fortement sur les activités de production axées sur les ressources naturelles, comme l'agriculture et la pêche, leur vulnérabilité s'en trouve accentuée. Les secteurs de l'énergie, de l'industrie et des transports sont donc importants lorsqu'on parle de vulnérabilité et d'adaptation.

#### 3.5.1 Peuplements humains

Les principaux problèmes auxquels devront probablement faire face les populations africaines seront causés par les effets de phénomènes

exceptionnels comme les tempêtes tropicales, les inondations, les glissements de terrain, le vent, les vagues de froid, les sécheresses et l'élévation anormale du niveau de l'eau prévus en raison des changements climatiques. Ces phénomènes exacerberont probablement les problèmes de gestion se rapportant à la pollution, à l'hygiène publique, à l'élimination des déchets, à l'approvisionnement en eau, à la santé publique, aux infrastructures et aux techniques de production (GIEC, 1996).

Les stratégies d'adaptation consistent principalement à reloger les populations, à fournir et utiliser l'énergie de façon efficace, à introduire des techniques d'adaptation et à améliorer les systèmes de gestion. Comme la plupart de ces stratégies entraînent des coûts élevés, les contraintes économiques actuelles des pays africains peuvent créer d'importants obstacles à leur mise en œuvre qui, dans certains cas, peut comporter des aspects qui transcendent les coûts; par exemple, le déménagement des peuplements humains qui se trouvent dans des zones côtières à basse altitude susceptibles d'être inondées créera probablement des problèmes qui s'ajouteront aux conséquences financières et donnera lieu à des changements dans la structure sociale. Il faudra des politiques précises sur l'utilisation des terres, renforcées par des régimes fonciers souples.

#### 3.5.2 Énergie

Les effets des changements climatiques sur le secteur de l'énergie se traduiront surtout par la diminution ou la modification du potentiel de production d'hydroélectricité et l'influence de l'accroissement du ruissellement (et donc de l'envasement) sur la mise en valeur de l'énergie hydraulique ainsi que par des changements dans le taux de croissance des arbres utilisés comme combustible. En 1990, la consommation totale d'énergie primaire de l'Afrique au sud du Sahara (y compris l'Afrique du Sud) se répartissait comme suit : biocombustibles, 53 %; pétrole, 26 %; charbon, 14 %; hydroélectricité à grande échelle, 3 %; gaz naturel, 2 %; et autres énergies renouvelables, 2 %. L'élément du secteur de l'énergie le plus vulnérable aux changements climatiques en Afrique est la fourniture de services énergétiques pour desservir les régions rurales et, dans une certaine mesure, pour répondre aux besoins des villes à faible revenu. Le tableau 9 montre que des millions de mètres cubes de bois sont récoltés chaque année à des fins énergétiques. Le secteur de

**Tableau 10** : Approvisionnements d'énergie (%) dans les pays représentatifs des sous-régions.

Sous-région	Pays représentatif	Pétrole	Charbon	Gaz	Biomasse	Electricité/ hydroélectricité
Ouest de l'Afrique	Nigéria	27	0,4	12,6	59	1
	Ghana	21	–	–	69	10
Est de l'Afrique	Kenya	21	1	–	70	8
	Ethiopie	8	–	–	90	2
Sud de l'Afrique	Zimbabwe	10	50	–	25	15
	Botswana	17	6	–	73	4
Nord de l'Afrique	Soudan	19	–	–	80	1
	Egypte	54	2	21	15	–
Centre de l'Afrique	Cameroun	19	–	–	67	14
	Tchad	33	–	–	77	–
<b>Moyenne</b>					<b>62,5</b>	

Sources : PNUE, 1990; BAD PEA, 1996.

l'énergie compte beaucoup sur la biomasse, ce qui pose un grave problème parce que seule la régénération naturelle des forêts indigènes peut l'aider à s'approvisionner. Outre les sources d'énergie primaire mentionnées dans le tableau 10, le charbon est très utilisé dans l'est et le sud de l'Afrique, dans des pays comme la Zambie et la Tanzanie; en Zambie, la production annuelle de charbon fourni par les forêts indigènes s'élève à 3,5 millions de tonnes et répond à 80 % des besoins énergétiques des ménages urbains.

Le bois de chauffage fournit 97 % de toute l'énergie consommée par les ménages (Chidumayo, 1997). Bien que les stocks naturels de bois soient élevés, la majorité de la population rurale y a très peu accès dans bon nombre de régions. Le bois sert surtout à la fabrication de briques ainsi qu'au séchage du tabac et du thé. Au Zimbabwe, d'après ce que l'on dit, la population rurale utilise autant de bois pour fabriquer des briques qu'il n'en faut pour cuisiner (Bradley et Dewees, 1993); au Malawi, les plantations de tabac consomment 21 % de tout le bois de chauffage (Moyo *et al.*, 1993). Au Botswana, le clôturage des champs pour empêcher le bétail d'y entrer nécessite une fois et demie plus de bois qu'il n'en faut aux ménages agricoles pour cuisiner (Tietema *et al.*, 1991). Les miombos indigènes et d'autres boisés de l'Afrique au sud du Sahara fournissent beaucoup de bois de chauffage à des fins de consommation et de transformation en charbon. Les peuplements se rétablissent d'eux-mêmes, et leur aménagement est réduit au minimum. La possibilité pour les consommateurs d'acheter d'autres formes d'énergie (du gaz ou de l'électricité) aussi bien que du charbon dépend de la situation économique de chaque famille. Les pauvres (dont le pouvoir d'achat est limité) sont donc les plus vulnérables aux réductions de l'approvisionnement en bois de chauffage. La croissance des populations contribue aussi à l'épuisement des ressources. Dans les régions assez fortement boisées, où la densité de population est faible, il y a ordinairement suffisamment de bois mort à ramasser pour l'utiliser comme bois de chauffage. Toutefois, le nombre de plus en plus grand de sécheresses accroît la fréquence des incendies et, partant, laisse

moins de bois mort dans les boisés. Si les systèmes actuels de gestion des ressources naturelles ne sont pas modifiés, l'Afrique pourrait courir le risque d'épuiser, à un rythme plus accéléré que le taux de croissance démographique, ses ressources forestières qui servent à la production d'énergie verte. La rareté des données sur les taux d'appauvrissement et de régénération de la biomasse rend difficile une évaluation sérieuse et aggrave les problèmes que pose la diminution possible des précipitations et des taux de régénération qui s'ensuivraient parce qu'il n'est pas facile de déterminer les mesures d'intervention à prendre. Il existe déjà des signes indiquant que le bilan de l'approvisionnement est négatif (par exemple, les déchets agricoles et animaux sont largement utilisés par les ménages comme source d'énergie).

En 1992, l'Afrique produisait 312 000 GWh d'électricité à l'aide de centrales thermiques (78 %), hydroélectriques (19 %) et, dans une moindre mesure (3 %), de centrales nucléaires exploitées en Afrique du Sud (BAD PEA, 1996). D'énormes quantités d'eau sont nécessaires pour les systèmes de refroidissement des centrales thermiques; si les précipitations diminuent, le manque d'eau de refroidissement aura non seulement pour effet de réduire la capacité de production, mais aussi de retarder la construction de nouvelles centrales. On peut donc s'attendre raisonnablement à ce que l'exploitation des réserves massives de charbon du continent dans les régions où elles se trouvent diminuera à la fois en raison du lobby anticharbon et des pénuries d'eau de refroidissement. Par le passé (par exemple, pendant la sécheresse de 1991-1992), la diminution des précipitations a causé une forte réduction de la production totale d'hydroélectricité, qui a été aussi importante que 30 % au barrage de Kariba (qui approvisionne en énergie la Zambie et le Zimbabwe). On a dit que les changements climatiques pourraient avoir un effet sur la production d'hydroélectricité à l'avenir. Salewicz (1995) a étudié la vulnérabilité du bassin du Zambèze à ces changements. Il a mentionné que 75 % des eaux du cours inférieur de ce fleuve se jetaient dans le lac Kariba. Les scénarios de changement climatique prévoient que cette région connaîtra une augmentation des précipitations et de l'écoulement

dans ce lac. Bien que la régularité saisonnière des débits qui alimentent le cours inférieur du Zambèze puisse varier, il est possible que la capacité de production d'hydroélectricité diminue. Les installations hydroélectriques du Congo, du Nil et du Niger pourraient subir des effets semblables, ce qui donnerait lieu à d'importantes pénuries d'électricité dans tout le continent. En outre, l'énorme capacité de production hydroélectrique du continent, qui s'élève à 150 000 GWh par année, serait considérablement réduite, ce qui occasionnerait d'importants changements dans les stratégies d'approvisionnement en combustible de la plupart des pays. On a proposé de construire en Afrique de minuscules et de petites centrales hydroélectriques en raison du coût élevé des grosses centrales. Ces types de centrale nécessiteront un débit minimum bien défini. La diminution des précipitations pourrait considérablement réduire le nombre d'emplacements convenant à ces micro-installations.

### 3.5.3 Industrie

Les changements climatiques futurs devraient être pris en bonne considération dans l'établissement d'une formule de développement industriel durable pour l'Afrique. Il se peut que les effets restrictifs des changements climatiques sur l'expansion industrielle contribuent à la vulnérabilité de l'industrie africaine davantage que leurs effets sur les installations industrielles existantes et les investissements. Les plus graves conséquences des changements climatiques pour ce secteur seront reliées à la perte de compétitivité due à l'accroissement des coûts de production résultant des changements apportés dans les usines ou de leur modernisation pour que les procédés de fabrication soient moins polluants. Une diminution de l'approvisionnement d'eau de surface occasionnerait une utilisation accrue des eaux souterraines qui, le plus souvent, doivent être traitées sur place pour satisfaire aux normes de qualité nécessaires à certaines applications industrielles. D'autres importantes conséquences résulteront du manque d'eau pour les procédés industriels et de l'augmentation des coûts du refroidissement pour les procédés et l'entreposage à température contrôlée; dans l'industrie africaine, un grand nombre de procédés agro-industriels exigent beaucoup d'eau.

A ces effets directs s'ajouteront des effets indirects, comme la hausse du coût de l'eau; si les pénuries d'eau sont graves et périodiques, ce facteur pourrait occasionner le déménagement d'installations industrielles. Les pénuries d'électricité résultant d'une baisse du niveau de l'eau ayant pour effet de diminuer la production d'hydroélectricité toucheront aussi l'industrie, notamment les aciéries (y compris les fonderies), les fabriques de ferrochrome, de ciment et de textile ainsi que les alumineries. Ces industries comptent parmi quelques-unes des plus perfectionnées du continent, mais un approvisionnement constant en électricité est extrêmement important pour elles. Il n'existe aucune donnée permettant de connaître l'ampleur des pénuries d'eau pouvant résulter d'une diminution des précipitations, mais il est évident que celles qui toucheront les villes très peuplées auront aussi un effet débilisant sur la production industrielle. Dans bon nombre d'Etats du sud et du nord de l'Afrique, la demande d'eau est déjà supérieure à l'approvisionnement ou elle le sera probablement bientôt.

Bien que des évaluations détaillées de l'effet de l'élévation du niveau de la mer sur les industries côtières aient été réalisées pour l'Asie et d'autres régions, il existe peu de renseignements sur l'Afrique. On peut toutefois présumer que la plupart des conséquences qui se produiraient dans d'autres zones côtières s'appliqueraient aussi à l'Afrique. La plupart d'entre elles auraient trait au déménagement des industries. Il est impossible de déterminer avec précision l'ampleur de ces conséquences sans faire une évaluation plus poussée des emplacements industriels de la zone côtière.

### 3.5.4 Transports

Le secteur des transports repose sur une infrastructure immuable à long terme, comme les routes, les chemins de fer et les voies maritimes. Presque partout dans le continent, les réseaux routiers ont généralement relié les centres industriels aux principales zones d'activité agricole; par le passé, les chemins de fer ont surtout été construits pour se diriger vers les voies maritimes afin de faciliter les envois internationaux de produits

Tableau 11 : Nature et densité des réseaux routiers dans certains pays africains.

Pays	Routes pavées	% de routes pavées	Total (km)	Densité (en km/1000 km <sup>2</sup> )	Véhicules/km
Afrique du Sud	–	29,8	–	–	–
Angola	8900	12,1	73 400	59	4
Botswana	3740	20,4	18 330	32	4
Ethiopie	13 300	34,5	38 600	32	1
Kenya	9800	14,5	67 800	117	5
Lesotho	540	11,2	4840	161	5
Malawi	2400	18,3	13 140	111	2
Maurice	1795	86	2090	1045	65
Mozambique	5400	15,1	35 700	45	2
Namibie	–	–	6500	8	21
Ouganda (1993)	8342	21	40 057	166	2,4
Swaziland	730	21,2	3450	203	17
Tanzanie	3580	4	82 600	87	1
Zambie	6300	16	39 160	52	3
Zimbabwe	13 000	17	78 700	202	5
<b>Moyenne</b>	<b>–</b>	<b>23</b>	<b>–</b>	<b>166</b>	<b>10</b>

Source : Zhou et Molcofi, 1997.

primaires. Les changements climatiques peuvent causer le déménagement des industries en raison de l'élévation du niveau de la mer dans les régions côtières ou des transitions dans les zones agro-écologiques. Ce déménagement nécessiterait d'autres investissements dans les infrastructures et pourrait aussi rendre les voies navigables dysfonctionnelles, ce qui exigerait, pour les remplacer, des investissements supplémentaires dans les routes et les chemins de fer. Une élévation du niveau de la mer aura, sur bon nombre de havres et de ports du continent, un effet qui sera très dévastateur pour l'économie de beaucoup de pays côtiers. Les précipitations extrêmement abondantes que pourraient connaître certaines parties de l'Afrique auront probablement de graves effets nuisibles sur les réseaux routiers et le transport aérien. Par contre, si les changements climatiques assèchent le climat, les coûts d'entretien diminueront peut-être. En général, les réseaux routiers du continent comprennent des routes de gravier reliant les principaux centres urbains, où les rues sont pavées. Au Swaziland, une proportion raisonnable des routes sont pavées (55 % en date de 1990). La situation est bien pire dans d'autres pays, comme l'indique le tableau 11, qui illustre la qualité des réseaux routiers dans certains Etats africains.

La production agricole nécessite beaucoup de transport sur la ferme pour transborder les produits et les approvisionnements agricoles et déplacer la machinerie. Ces activités essentielles sont facilement perturbées par des pluies trop abondantes. Les effets de ces perturbations seront probablement plus marqués dans le cas des fermes commerciales exploitées sur une grande échelle, qui sont très mécanisées. Pendant les dernières sécheresses qui ont frappé le continent, le sol des routes est devenu friable en raison de la température élevée et du temps sec. Ces routes ont été facilement emportées lorsqu'il s'est mis à pleuvoir, ce qui a considérablement érodé le sol et entraîné pour les fermiers des coûts élevés de réfection. Pour les agriculteurs qui cultivent en commun la terre sur une petite échelle, il s'est produit une érosion massive du sol des chemins sur la ferme et à l'extérieur. Dans bien des cas, ces chemins emportés ont formé des ravins.

Les aéroports situés dans des zones côtières ou près d'autres plans d'eau, comme les cours d'eau et les lacs, seraient le plus touchés. Ils subiraient aussi des effets indirects si les changements climatiques causaient une augmentation des précipitations, comme certains modèles portent à le croire. Dans ce cas, les systèmes actuels de soutien du transport aérien, comme les bases de données météorologiques, pourraient être utilisés à leur maximum parce qu'ils ont été conçus pour certains climats qui prédominent dans le continent. En général, le mauvais temps augmenterait la possibilité d'accidents d'avion.

### 3.5.5 Mesures d'atténuation et d'adaptation à envisager

L'hypothèse selon laquelle une "révolution solaire" (Kane, 1996) pourrait remplacer l'économie temporaire fondée sur les combustibles fossiles est plutôt simpliste. Pour les pays africains, qui doivent encore améliorer considérablement leurs infrastructures et leurs industries de base, il faudra continuer pendant un certain temps d'avoir recours à des systèmes énergétiques centralisés même s'ils peuvent être utilisés conjointement avec des installations solaires perfectionnées. Outre cette transition générale, les systèmes énergétiques centralisés de l'Afrique, y compris les centrales hydroélectriques, au charbon et au mazout, devront faire appel à des techniques de conversion de l'énergie moins polluantes et plus efficaces. Cette transition sera fondée sur des améliorations autonomes de l'efficacité dans l'immédiat et à moyen terme, mais

l'Afrique ne sera pas en mesure d'être la locomotive de ces améliorations en raison des tendances économiques et techniques actuelles.

Comme la vitesse moyenne des vents est de 5,8 m/s (Kane, 1996), l'énergie éolienne est une solution généralement proposée. A moins que des techniques ne soient mises au point pour produire de l'électricité à une vitesse moindre, l'utilisation d'éoliennes demeurera limitée parce qu'en général la vitesse des vents dans la région est faible et varie en moyenne entre 3 et 5 m/s.

Les sources d'énergie nouvelles et renouvelables permettent de remplacer les grosses centrales hydroélectriques et thermiques, mais elles présentent d'autres avantages, dont l'amélioration de la situation générale de l'emploi dans l'économie. D'après Kane (1996), ces emplois seront occupés par du personnel hautement qualifié, surtout dans la conception des systèmes. Il est donc possible que cet avantage soit limité en Afrique parce que le continent a du retard sur les autres régions en ce qui concerne la mise au point de nouvelles technologies, comme les éoliennes, les cellules solaires photovoltaïques (PV) et les digesteurs de biogaz, qui ont été perfectionnés en Chine et en Inde. Les pays africains devraient agir immédiatement, avec une aide extérieure, pour combler cette lacune.

L'accroissement de l'efficacité énergétique, qui devra être autonome en Afrique dans la plupart des cas, est une importante mesure d'intervention. L'Afrique perd beaucoup d'énergie; dans certains cas, des économies pouvant aller jusqu'à 40 % seraient réalisables. Dans le secteur de l'électricité, les pertes totales des réseaux dépassent parfois 30 % alors que, d'après les normes internationales, elles devraient être inférieures à 8 %, y compris pour certains réseaux en Afrique (Davidson, 1992). La réduction de ces pertes permettra de prendre des mesures de gestion axées sur la demande d'électricité. Toutefois, ces mesures nécessiteront de vigoureux programmes de soutien pour surmonter un certain nombre d'obstacles à leur mise en œuvre.

Il a été proposé "qu'une grande partie de l'industrie devra imiter la nature, réutiliser et recycler tous les produits chimiques qu'elle utilise dans les procédés cycliques". Par conséquent, "il faut se tourner vers les industries durables" (Kane, 1996). Avant le débat actuel sur les changements climatiques, cette stratégie consistait à utiliser des matériaux renouvelables comme matières premières industrielles, par exemple, des fibres naturelles au lieu de ressources restreintes comme les minéraux. Toutefois, la diminution de la productivité du secteur agricole, qui fournit actuellement les matières premières industrielles dont ont besoin la plupart des pays africains, rend cette proposition moins pertinente.

On a dit que des petites fabriques étaient idéales pour les pays en développement parce qu'elles pouvaient recycler plus efficacement les ressources (Kane, 1996). Il serait plus efficace, par exemple, de construire de petites usines à des endroits dispersés du pays pour réduire les coûts de l'expédition des rebuts à de grosses installations centrales. En Afrique, cette méthode permettrait d'atténuer la diminution ou l'épuisement des minerais naturels et d'offrir des possibilités d'emploi un peu partout dans le pays. La production d'acier est importante au Nigéria, au Zimbabwe et en Afrique du Sud, mais depuis longtemps, ce sont des grosses aciéries qui en ont le monopole. La construction de petites usines pourrait permettre à l'industrie d'étendre ses activités à d'autres endroits du continent.

**Encadré 9. Cape Cross : Importance écologique des milieux humides côtiers**

Un certain nombre de zones côtières africaines, comme celle de la Namibie, offrent des habitats uniques pour les espèces d'oiseaux migrateurs et une variété d'espèces locales (Williams, 1990). Ces milieux humides sont alimentés par des cours d'eau intermittents dont les caractéristiques hydrologiques sont complexes et qui se jettent dans l'océan bordant la côte ouest de la Namibie. Des changements dans le niveau de la mer feraient disparaître des habitats qui se trouvent dans ces milieux humides de la côte ouest.

Cape Cross, l'un des points de contact les premiers mentionnés (xv<sup>e</sup> siècle) par des explorateurs européens dans le sud de l'Afrique, est surtout connu pour son importante colonie d'otaries à fourrure (*Arctocephalus pusillus*), qui compte environ 150 000 individus. Au sud de ce promontoire rocheux, un cordon sablonneux a été formé par les sédiments continuellement rejetés au nord par le fleuve Orange. Derrière ce cordon se trouve une série de lagunes couvrant 5 km<sup>2</sup> et comprenant des étendues salifères alimentées par l'infiltration de l'eau de mer et le débordement des fortes marées (Williams, 1990). Des plates-formes de bois pour le guano y ont été construites dans les années 50 afin de permettre aux cormorans de se reproduire et de nicher (Rand, 1952). Aujourd'hui encore, on fait la récolte du guano produit par 30 000 couples de cormorans du Cap qui nichent dans cette région (Williams, 1990).

Les lagunes peuvent héberger jusqu'à 11 000 individus appartenant à 28 espèces d'oiseaux de rivage, y compris des migrants intra-africains, des migrants paléoarctiques et des oiseaux nicheurs résidents (Williams, 1990). Parmi les espèces d'oiseaux figurant sur la liste rouge, plus de 2000 individus de la variété sud-africaine du grèbe à col noir (*Podiceps nigricollis gurneyi*), soit 16 % de la population mondiale estimée, peuvent être présents dans ces lagunes (Cooper et Hockey, 1981; Williams, 1990). On y trouve aussi de 1 à 3 % de la population sous-continentale sud-africaine de flamants roses (*Phoenicopterus ruber*) et de flamants nains (*P. minor*), et jusqu'à 22 % de la population côtière de sarcelles du Cap (*Anas capensis*) (Williams, 1990). Le nombre de migrants paléoarctiques, y compris le bécasseau cocorli (*Calidris ferruginea*), s'élève à près de 4200 individus; par ordre d'importance, Cape Cross occupe le huitième rang environ pour ces oiseaux de la côte de la Namibie (Williams, 1990). La colonie d'otaries de Cape Cross se trouve dans une réserve nationale, et les lagunes sont peu perturbées en raison de leur inaccessibilité. Pour l'instant, cette région n'est donc pas menacée.

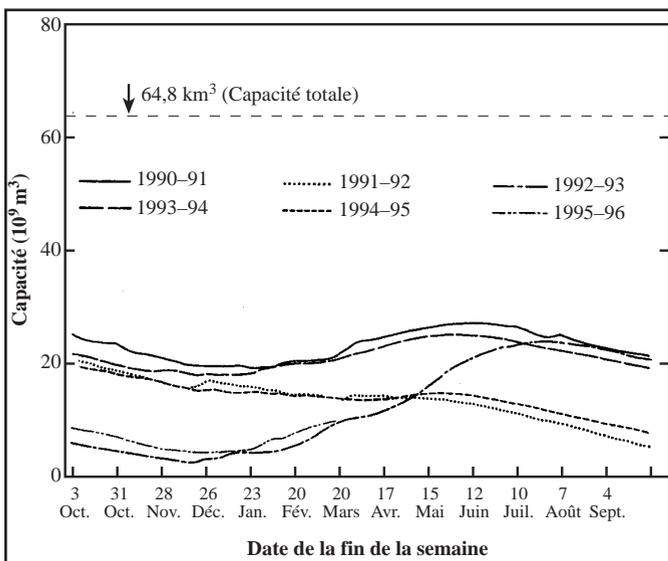
**3.6 Faune, tourisme et loisirs**

Le tourisme, l'une des industries les plus prometteuses de l'Afrique et qui croissent le plus rapidement (environ de 15 % par année), est fondé sur l'utilisation de la faune et de l'eau à des fins récréatives. Les sécheresses périodiques de la dernière décennie ont considérablement appauvri les ressources fauniques. La disparition de ces attractions ferait perdre beaucoup d'investissements dans le tourisme. Les conséquences les plus graves se produiraient dans les régions du Sahel, de l'est et du sud de l'Afrique susceptibles d'être frappées par la sécheresse.

Il existe une grande diversité d'espèces végétales et fauniques dans diverses aires réservées qui se trouvent dans des reliques de végétation naturelle éparpillées. La plupart des ces aires réservées sont entourées de terres agricoles exploitées par les humains. Cet éparpillement et la concentration des animaux à certains endroits rendent ces derniers très vulnérables parce que la végétation (l'habitat) ne réagira pas assez rapidement à la modification du climat, et il sera impossible pour les animaux de migrer là où les conditions climatiques seront plus favorables en raison du nombre limité de corridors entre les réserves de faune dont la végétation et le climat sont différents; en outre, la faune réagirait lentement à un changement de frontières de son habitat (voir la section 2.3.1.4).

Les changements climatiques toucheront indirectement l'industrie touristique parce qu'ils modifieront les plans d'eau et la végétation ainsi que, à plus grande échelle, les conditions socio-économiques, par exemple, le prix des carburants et les modalités de la demande de certaines activités ou destinations. La modification du paysage, le "capital" du tourisme (Krippendorf, 1984), aura également divers effets indirects qui pourraient amener les touristes éventuels à penser que l'Afrique est moins intéressante et donc à se rendre ailleurs. En outre, d'autres endroits touristiques pourront créer une nouvelle concurrence à mesure que le climat change (particulièrement selon la saison), notamment en ce qui concerne les périodes de vacances dans le nord.

Des attractions touristiques comme les chutes Victoria pourraient devenir bien moins intéressantes en raison de la diminution du débit des cours d'eau et de la modification de la forêt pluviale. Les modèles hydrologiques pour la savane tropicale africaine prédisent une diminution du débit causée par les changements climatiques (Hulme, 1996a). Les effets de ces changements sur le tourisme comprendront la modification



**Figure 14 :** Stockage de l'eau du lac Kariba de 1990-1991 à 1995-1996 (Hulme, 1996b).

des particularités des destinations touristiques populaires. Pendant la sécheresse de 1992, les chutes Victoria ont quelque peu perdu de leur intérêt parce qu'il y coulait beaucoup moins d'eau, ce qui a réduit l'em-brun qui maintenait en bon état la forêt pluviale à proximité des chutes et causé la mort de la flore avoisinante.

Dans le sud et l'est de l'Afrique, diverses activités touristiques dépendent de l'eau : la navigation de plaisance, le ski, la pêche, le rafting, etc. Ces activités pourraient être touchées par des changements dans le débit des cours d'eau et les effets de l'utilisation des terres (notamment l'agriculture) sur la qualité de l'eau, comme l'eutrophisation, qui favorise la croissance d'algues bleu-vert désagréables et la prolifération d'herbes aquatiques (comme *Eichhornia* et *Salvinia*). Ces changements mettront en danger la valeur esthétique des destinations touristiques. Bon nombre de réservoirs de l'Afrique (comme le lac Victoria et le Nile Sudd) sont menacés. Outre leur valeur touristique, ces eaux intérieures sont une source de protéines. Beaucoup de plans d'eau de l'Afrique sont très sensibles à des changements d'écoulement. Le bilan hydrologique des bassins hydrographiques intérieurs, comme le lac Tchad, les lacs de la Rift Valley dans l'est de l'Afrique (par exemple, les lacs Nakuru et Naivasha) ainsi que d'autres plans d'eau peu profonds comme le lac Chilwa et le delta de l'Okovango, est très fragile. Récemment, le lac Chilwa, au Malawi, et le lac Nakuru, au Kenya, se sont complètement asséchés. D'après Magadza (1984, 1996), la diminution de l'écoulement peut avoir un effet considérable sur la productivité des populations de poissons des grands réservoirs comme le lac Kariba en raison d'une réduction des apports d'éléments nutritifs.

Dans les milieux humides de l'Afrique, comme le delta de l'Okovango, les plaines inondables du Kafue et le lac Bangweulu, la faune sauvage est abondante et variée, et l'avifaune est particulièrement remarquable. Magadza (1996) montre comment l'assèchement graduel des milieux humides de la bande de Caprivi a occasionné une diminution de la population d'invertébrés et la disparition complète de certaines espèces. Cette aridification a été suivie d'un empiètement par la culture du sol.

La destruction de l'infrastructure côtière, des plages et des cordons sablonneux ainsi que des écosystèmes marins nuirait au tourisme dans ces régions (Okoth-Ogendo et Ojwang, 1995). Cet effet pourrait être exacerbé par la perturbation des modes de peuplement humain dans les zones côtières et la perte générale de valeurs environnementales.

Bon nombre d'installations touristiques (comme les hôtels) ont été construites en bordure de réservoirs et de lacs intérieurs, comme le réservoir Midmar en Afrique du Sud, les lacs Malawi, Tchad et Victoria ainsi que plusieurs autres lacs de la Rift Valley dans l'est de l'Afrique. Dans certains cas, il existe des installations en aval, comme celles du Shire et du Liwonde. Les sécheresses qui ont eu lieu par le passé ont montré que les fluctuations du niveau des lacs amoindrissent la qualité des services que les stations estivales offrent; l'eau peut se retirer à une distance considérable de ces stations. Actuellement, le niveau du lac Kariba est inférieur de 13 m à celui de sa capacité de stockage; des services comme la mise en cale sèche ne sont plus fournis depuis plusieurs années. La figure 14 montre les changements dans le niveau du lac Kariba pendant la sécheresse de 1991-1992. Lorsqu'un cours d'eau a pour principale source d'alimentation un lac, une baisse de niveau aura donc le même effet sur les installations touristiques avoisinantes. Ces effets seront probablement plus prononcés pour les réservoirs qui, outre le tourisme,

servent à d'autres activités (par exemple, l'irrigation ou la production d'hydroélectricité).

Une évaluation visant à déterminer dans quelle mesure l'ensemble du milieu naturel et de la faune pourraient être vulnérables aux changements climatiques devrait faire partie intégrante de la planification environnementale (Mkanda, 1996). Un certain nombre de pays au sud du Sahara sont d'avis que la préservation de la diversité biologique (la faune), de l'agriculture et des activités touristiques est une importante solution bénéfique à tous, à envisager pour les ressources naturelles et qui fournit aussi une bonne source de recettes indispensables (Banque mondiale, 1996). Dans un rapport sur la protection de la faune au Zimbabwe, la firme Price Waterhouse (1994) a montré que la faune était le meilleur mode d'utilisation des terres dans les régions semi-arides du sud-est de ce pays. L'application de cette formule dans la réserve naturelle de Gonarezhou a été facilitée par l'établissement, en vertu de la loi sur les parcs et la faune, d'un cadre législatif approprié qui accorde essentiellement la gérance de la faune aux propriétaires fonciers.

### 3.7 Santé humaine

Il existe un rapport entre le climat et bon nombre de maladies environnementales et à transmission vectorielle (MTV); les différents éléments climatiques (par exemple, la température et les précipitations) agissent sur les fonctions des agents pathogènes et de leurs vecteurs. Bien qu'il existe des atlas rudimentaires de la distribution des maladies en Afrique (Knoch et Schulze, 1956), rares sont les modèles exacts et vérifiés qui permettent de dresser des cartes plus détaillées de cette distribution en utilisant des données sur les processus physiologiques reliés au climat. Ces cartes et modèles sont nécessaires pour calculer le niveau opérant et limitatif actuel de la transmission de ces maladies afin de pouvoir mesurer les effets prévus des changements climatiques. Ces changements peuvent comprendre des modifications dans la distribution des maladies dans les régions qui en étaient auparavant exemptes ou un changement dans leur gravité en un lieu donné. Des modèles de ce genre existent maintenant (Martens *et al.*, 1995a et b; Le Sueur *et al.*, en préparation), mais la plupart utilisent encore des données hypothétiques et sont en grande partie non vérifiés. Toutefois, ils peuvent fournir un bon point de départ pour montrer les effets des changements climatiques prévus. Pour ce qui est de la malaria, un projet à l'échelle du continent, la cartographie du risque de malaria en Afrique (MARA/ARMA), est en cours. Il fournira une base de données sur la distribution et la gravité des maladies qui servira à vérifier les processus enclenchés par le climat. Cependant, aucun projet de ce genre n'a été entrepris pour d'autres maladies qui, en Afrique, peuvent subir les effets des changements climatiques (par exemple, les arbovirus, la trypanosomiose et la schistosomiose).

En Afrique, la transmission vectorielle est la principale cause des maladies et de la mortalité. Le tableau 12 présente des chiffres mondiaux sur le nombre de personnes qui risquent d'attraper d'importantes MTV et qui en souffrent actuellement. Pour le moment, la distribution de la plupart des MTV est bien en deçà des limites climatiques de leurs vecteurs. La mesure dans laquelle les zones de transmission possible des maladies se déplaceront à la suite de changements dans l'aire de distribution des vecteurs causés par les changements climatiques dépendra en partie de la façon dont les activités humaines modifieront les écosystèmes locaux (McMichael *et al.*, 1996). Les maladies transmises par les

**Tableau 12 :** Principales maladies tropicales à transmission vectorielle, et probabilité de la modification de leur distribution en raison des changements climatiques.

Maladie	Vecteur	Nombre de personnes à risque (en millions) <sup>1</sup>	Nombre de personnes infectées ou de nouveaux cas par année	Distribution actuelle	Probabilité de la modification de la distribution en raison des changements climatiques
Malaria	Moustiques	2400	300 à 500 millions	Régions tropicales et sub-tropicales	+++
Schistosomiase	Hélice aquatique	600	200 millions	Régions tropicales et sub-tropicales	++
Filariose lymphatique	Moustiques	1094	117 millions	Régions tropicales et sub-tropicales	+
Trypanosomiase africaine	Mouche tsé-tsé	55	250 000 à 300 000 cas/an	Afrique tropicale	+
Dracunculose	Crustacés (copépodes)	100	100 000/an	Sud de l'Asie/ Moyen-Orient/ centre-ouest de l'Afrique	?
Leishmaniose	Phébotome	350	12 millions infectées, 500 000 nouveaux cas/an <sup>2</sup>	Asie/sud de Europe/ Afrique/Amériques	+
Onchocercose	Mouche noire	123	17,5 millions	Afrique/Amérique latine	++
Trypanosomiase américaine	Triatome	100	18 à 20 millions	Amérique centrale/du Sud	+
Dengue	Moustiques	2500	50 millions/an	Régions tropicales et sub-tropicales	++
Fièvre jaune	Moustiques	450	<5000 cas/an	Régions tropicales de l'Amérique du Sud et de l'Afrique	++

+ = probable; ++ = très probable; +++ = extrêmement probable; ? = inconnue

<sup>1</sup> Les trois premières valeurs sont des projections au prorata de la population qui sont fondées sur les chiffres pour 1989.

<sup>2</sup> Incidence annuelle de la leishmaniose viscérale; l'incidence annuelle de la leishmaniose cutanée est de 1 à 1,5 million de cas.

Sources : OPS, 1994; OMS, 1994, 1995; Michael et Bundy, 1996; statistiques de l'OMS.

rongeurs et qui pourraient être touchées par les changements climatiques comprennent la peste et le syndrome pulmonaire de l'hantavirus. Dans un monde où le climat se réchauffera et qui sera plus urbanisé, les populations de rongeurs, qui servent de réservoirs pour les agents pathogènes et d'hôtes pour les vecteurs d'arthropodes, tendront à augmenter. Il est donc à prévoir que l'incidence de ces maladies augmentera (Shope, 1991).

L'augmentation prévue de la variabilité climatique d'une année à l'autre aurait des incidences marquées sur l'effet des maladies épidémiques saisonnières comme la malaria. En général, pour ces maladies, les mesures de lutte et d'atténuation sont planifiées en fonction du nombre moyen de cas pour une année donnée. D'importantes variations d'une année à l'autre entravent la mise en œuvre des mesures d'intervention et d'atténuation en raison de leurs conséquences sur les budgets nationaux (qui sont prévus pour des situations moyennes) et des retards dans l'application des mesures prises pour faire face aux épidémies causées par le climat. En outre, des populations non immunisées sont exposées de façon intermittente en raison de ces variations, ce qui donne lieu à des taux élevés de morbidité et de mortalité. Le tableau 13 présente des données sur quatre pays du sud de l'Afrique qui montrent clairement la variabilité pendant les dernières années. Cette variabilité souligne la

nécessité de créer des systèmes de prévision davantage axés sur le climat et capables de prédire ces variations assez tôt pour permettre aux autorités sanitaires d'intervenir rapidement au moyen de mesures de préparation et de prévention (Jury, 1996; Le Sueur et Sharp, 1996).

### 3.7.1 Vulnérabilité et adaptation

Il est prévu que, dans les grandes villes du nord de l'Afrique (GIEC, 1996), la mortalité due aux effets tant directs qu'indirects des changements climatiques augmentera. Ces effets comprendront une augmentation possible des cas de MTV, comme la malaria, la fièvre jaune, la dengue, l'onchocercose et la trypanosomiase, résultant d'une hausse de la température et de la modification des précipitations. Les villes situées à haute altitude, comme Nairobi ou Harare, pourraient devenir vulnérables aux épidémies de malaria parce que le parasite de cette maladie survivrait peut-être si le climat était plus chaud à une altitude plus grande que celle de son aire actuelle (GIEC, 1996).

Les températures minimales ( $T_{\min}$  ou les températures nocturnes et hivernales) sont des paramètres essentiels à la survie des vecteurs et influent sur la latitude et l'altitude de distribution de même que sur la durée de la saison où peut se faire la transmission. On sait que  $T_{\min}$  joue un rôle important dans la limitation de la distribution des populations

Tableau 13 : Variabilité d'une année à l'autre du nombre de cas de malaria dans le sud de l'Afrique.

Région	1992	1993	1994	1995	1996
Botswana					
(confirmé)	415	14 615	5335	2129	19 340
(non confirmé) <sup>1</sup>	4293	40 722	24 256	15 470	49 315
Namibie <sup>1</sup>	238 592	386 215	407 863	286 407	353 593 <sup>2</sup>
Afrique du Sud	2886	13 330	10 298	9287	29 206
Zimbabwe <sup>1</sup>	420 137	877 734	797 659	721 376	1.585 850

<sup>1</sup> Cas diagnostiqués cliniquement.

<sup>2</sup> Chiffres incomplets.

de vecteurs de la malaria en un lieu donné lorsque les conditions estivales sont propices à la transmission (Craig et Le Sueur, en préparation; Leeson, 1931). Les variables météorologiques peuvent donc créer des conditions propices à la propagation des maladies ou même à des épidémies isolées (dans le cas d'une inondation ou d'une sécheresse) (Epstein *et al.*, 1993). Une baisse du niveau des barrages et des cours d'eau diminuerait aussi la qualité de l'eau douce domestique et industrielle parce que cette diminution de volume ferait augmenter la concentration des eaux d'égout et d'autres effluents dans les cours d'eau, ce qui occasionnerait des épidémies de diarrhée, de dysenterie, de choléra, etc. En 1992 et 1993, le choléra a frappé presque tous les pays de la région de la SADC et causé la mort de centaines de personnes. Dans bon nombre de régions touchées par la sécheresse en Zambie, au Zimbabwe, au Botswana et en Afrique du Sud, des ruisseaux et des cours d'eau se sont asséchés. Les villageois (surtout les femmes) ont dû parcourir à pied de longues distances seulement pour recueillir de l'eau polluée qu'ils partageaient avec les animaux sauvages et le bétail. Le SARDC (1994) note que, lorsqu'une importante épidémie de choléra s'est déclarée dans plusieurs pays du sud de l'Afrique au milieu des années 80, la région venait juste de se remettre d'une autre sécheresse. Le débit réduit de l'eau pendant ces sécheresses a amoindri la capacité des cours d'eau, des ruisseaux et des marécages de diluer les produits chimiques agricoles et les engrais appliqués dans les champs, ce qui a nui aux écosystèmes pédologiques. Les changements climatiques prévus aggraveront probablement les problèmes causés par la sécheresse, mais les vulnérabilités et les mesures de lutte atténueront cet effet.

La résistance de plus en plus grande des insectes aux insecticides et des micro-organismes aux agents antimicrobiens ainsi que la toxicité des pesticides pour les insectes utiles (prédateurs) et les gros animaux (y compris les humains) restreindront l'efficacité de ces mesures de lutte. Par conséquent, il devient de plus en plus important de préserver les conditions environnementales qui réduisent la vulnérabilité à la propagation des MTV (par exemple, en défrichant beaucoup de terres et en pratiquant la monoculture) et celles qui comportent des moyens de défense généraux (des arbres autour des parcelles et des peuplements pour abriter les oiseaux qui mangent des insectes) (Epstein, 1993, 1995).

D'après les projections pour les précipitations faites par le MCG du GISS, la population de mouches noires dans l'ouest de l'Afrique, qui transmettent l'onchocercose (la cécité des rivières), augmentera peut-être

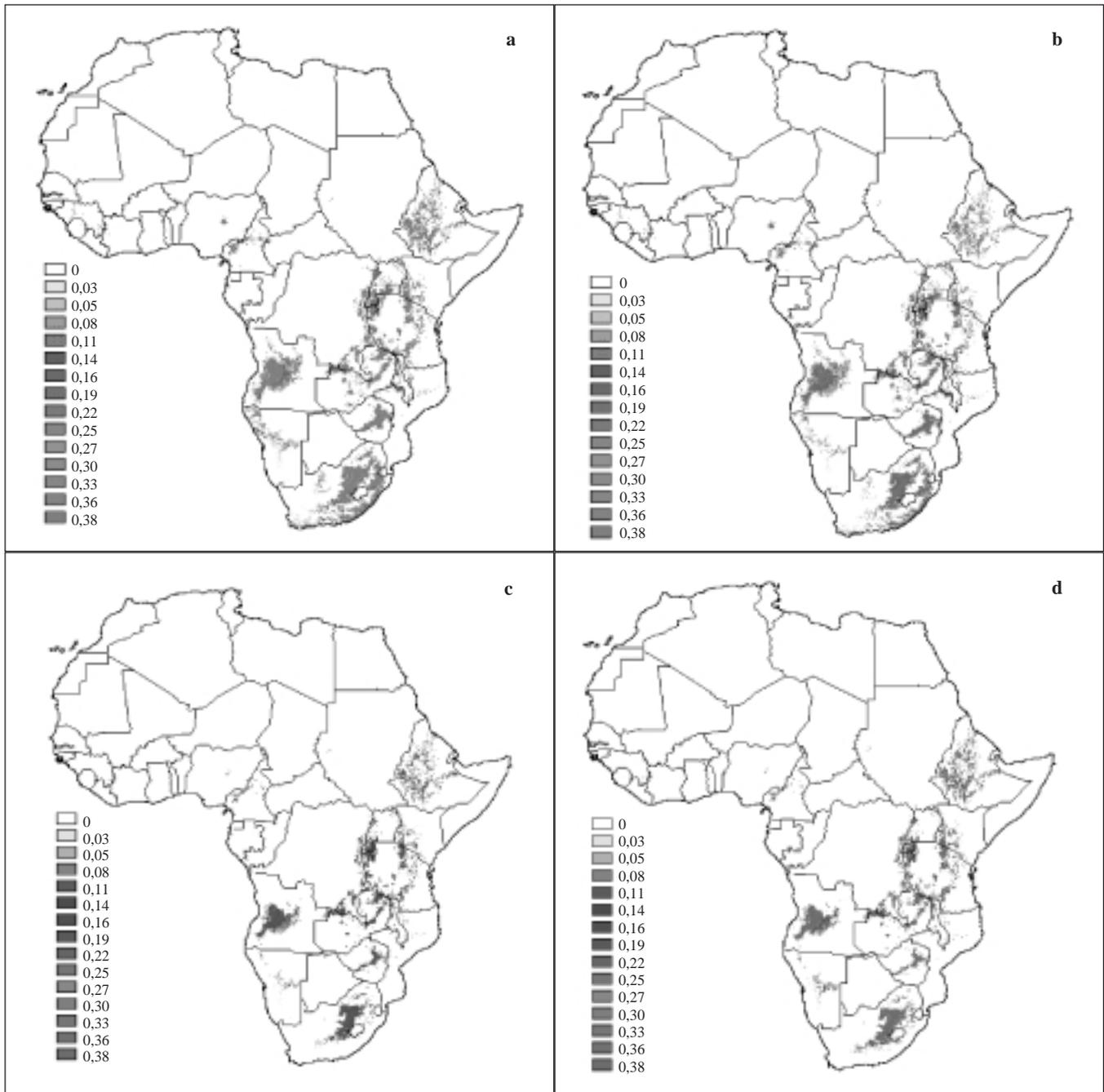
d'autant que 25 %. Les cas de schistosomiose et de malaria, deux maladies qui se propagent en fonction de la disponibilité de l'eau, augmenteront probablement en raison du recours accru à l'irrigation prévu dans les climats chauds. La trypanosomiose africaine (maladie du sommeil), qui est transmise par la mouche tsé-tsé, pourrait aussi devenir épidémique parce que l'élévation de la température accroîtrait l'aire de ce vecteur dans les régions sujettes à cette infection. Il se peut que la distribution des mouches tsé-tsé augmente dans l'est de l'Afrique (Rogers et Packer, 1993). Il y aurait peut-être d'autres effets mineurs sur la santé, dont l'incidence accrue des maladies ou des cancers de la peau, des cataractes et des maladies semblables des yeux, et de l'immunodépression en raison de l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique qui intensifie le rayonnement ultraviolet (GIEC, 1996).

En outre, les sécheresses et les pertes de récoltes qui s'ensuivent aggraveront probablement la situation alimentaire, comme ce fut le cas dans le sud de l'Afrique pendant les sécheresses des années 80 et du début des années 90. Ce facteur diminuera davantage les chances naturelles de survie des collectivités africaines et augmentera l'exposition aux maladies.

Il existe de plus en plus de preuves attestant que bon nombre de maladies nouvelles et récurrentes peuvent être reliées à l'instabilité des écosystèmes (Epstein, 1995). Dans bien des cas, cette résurgence, au lieu d'être reliée aux changements climatiques, semble plutôt l'être à d'autres changements dans l'environnement qui sont d'origine anthropique (c'est le cas, par exemple, de la maladie de Lyme, de la dengue et de l'hantavirus) (Levins *et al.*, 1994; Wenzel, 1994; Epstein, 1995). D'autres maladies sont nettement reliées au climat et aux changements climatiques : la malaria (Bouma *et al.*, 1994; Loevinsohn, 1994) et le choléra (Epstein, 1992 et 1995; Epstein *et al.*, 1993). Des modifications de l'environnement non reliées au climat perturbent souvent les habitats naturels; le déboisement ou le boisement, entre autres, fournissent de nouveaux habitats pour les vecteurs ou les agents pathogènes. Toutefois, les changements dus au climat peuvent comprendre des effets à court terme résultant de la variabilité d'une année à l'autre ou des changements à long terme causés par des facteurs comme le réchauffement de la planète. Les effets de ces changements seront probablement le plus perceptibles dans les zones à la périphérie de la distribution d'une maladie en particulier. En raison de changements dans la distribution, les populations vulnérables (celles qui sont peu immunisées si tant est qu'elles le

**Encadré 10. Effets potentiels des changements climatiques à long terme sur les maladies à transmission vectorielle : le cas de la malaria**

La malaria est une maladie environnementale à transmission vectorielle sur laquelle des changements dans le macro et le micro-environnement ont des effets considérables. L'effet sur la malaria des changements d'origine anthropique dans l'environnement peut être mesuré à l'aide d'une échelle qui commence au niveau mondial et qui se termine au niveau d'une propriété familiale. Pour étudier les changements dans la transmission de la malaria provoqués par l'environnement, il est impossible de se restreindre aux changements locaux parce qu'ils s'inscrivent dans l'évolution du macro-environnement. Pour comprendre la dynamique de ces changements de même que leurs interactions et savoir comment ils peuvent permettre de prédire leur occurrence, il est essentiel d'examiner le rôle des changements dans le macro-environnement (par exemple, le réchauffement planétaire) et le micro-environnement (par exemple, la déforestation ou les changements dans le mode d'utilisation des terres, le type de logement et l'émigration).



*Pourcentage de changement : a) modèle où la température augmente de 1 °C pendant 5 mois; b) modèle où la température augmente de 0,5 °C pendant 5 mois; c) modèle où la température augmente de 0,5 °C pendant 5 mois à une altitude supérieure à 1300 m; d) modèle où la température augmente de 1 °C pendant 5 mois à une altitude supérieure à 1300 m.*

**Encadré 10** (suite)

Il fait peu de doute que le réchauffement de la planète est maintenant en cours (GIEC 1990, chapitres 5, 7 et 8). Au cours des trois dernières décennies, il s'est produit une augmentation marquée des températures moyennes, particulièrement aux hautes latitudes, dont on estime qu'elle est d'environ 0,2 °C dans les régions tropicales (GIEC 1990, chapitre 5). On a accordé un peu d'attention aux changements climatiques mondiaux et à leurs conséquences sur la transmission épidémique de la malaria (Bouma *et al.*, 1994; Martens *et al.*, 1995a; Martin et Lefebvre, 1995). L'effet de ces changements sur la malaria sera probablement le plus grave dans les régions où la transmission de cette maladie était auparavant limitée physiologiquement par des basses températures qui restreignent le développement du vecteur et du parasite. Dans ces régions, la transmission sera probablement limitée à certaines saisons (lorsque la température sera favorable), ou il n'y en aura pas du tout. L'augmentation de la température allongera la saison de transmission et occasionnera une augmentation marquée de l'incidence de la malaria; elle pourra aussi étendre la transmission à des régions qui délimitaient auparavant l'aire de distribution de cette maladie en raison des effets de la latitude ou de l'altitude (ou des deux à la fois).

Des études réalisées au Rwanda (Loevisohn, 1994) et au Kenya (Knight et Neville; 1991; Some, 1994) ont examiné dans quelle mesure des changements peu importants dans l'utilisation des terres pouvaient donner lieu à une forte hausse des cas de malaria dans les hautes terres. Les effets des changements environnementaux à court terme et des changements dans les modes de comportement humain (par exemple, l'émigration et la modification des activités de lutte dans les régions adjacentes) se superposent aux effets plus généraux des changements macro-environnementaux et jouent probablement un rôle important dans les épidémies. Par conséquent, même si les changements climatiques peuvent rendre certaines régions plus vulnérables à la transmission de la malaria, le risque réel d'épidémie peut rester faible en raison de l'absence de facteurs de risque locaux coadjutants.

Les figures *a*, *b*, *c* et *d* délimitent les régions dont le climat serait touché par des augmentations de température de 0,5 et de 1,0 °C. Les figures *a* et *b* restreignent le processus de modélisation aux hautes terres de l'Afrique, tandis que les figures *c* et *d* indiquent les régions où la distribution de la malaria était auparavant limitée par l'altitude et la latitude. Ces "nouvelles" zones de transmission de la malaria seraient intermédiaires entre celles où la transmission annuelle est connue et les zones où il n'y a jamais eu de malaria. Pour ces dernières (la limite supérieure), la simulation s'écarte des normes de prudence, car elle suppose que la malaria est toujours limitée (ne peut se produire actuellement) et ne varie pas d'une année à l'autre. Elle utilise des zones de prévision à long terme, rétrospectives, climatiques (de température et de précipitations) et topographiques qui existent déjà pour l'Afrique (Hutchinson *et al.*, 1995). Une épidémie de malaria dans les zones périphériques de la distribution exige au préalable la présence de facteurs comme l'altitude ou la latitude auxquels il faut ajouter une période où, pour certaines années, les conditions ambiantes sont favorables pendant un certain nombre de mois consécutifs. Ce graphique présente une estimation modérée en présumant qu'une période de cinq mois consécutifs est préalablement nécessaire, alors que dans certaines régions (comme le Sahel), cette période peut être de trois mois seulement (Bagayako, comm. pers.). Même si les conditions favorables persistent pendant cette période, il se peut que la malaria ne soit pas transmise. La transmission dépendra alors des activités humaines qui donnent lieu à l'introduction du parasite dans ce milieu climatique favorable (à court terme).

Si l'on part du principe que les variables climatiques seulement ne peuvent pas toujours permettre de faire des prédictions fiables au sujet des risques d'épidémie, il en résulte d'importantes conséquences pour la prévision des épidémies et les changements dans la distribution. Ce modèle ne fait pas autorité, mais il montre comment le climat peut influencer sur la distribution des maladies et de quelle façon les régions susceptibles d'être touchées peuvent être délimitées. De même, on pourrait modéliser le changement d'intensité de la malaria dans les régions où elle existe. Les figures montrent que l'augmentation de la température aurait pour effet d'accroître considérablement le nombre de zones vulnérables dans les régions de l'hémisphère sud où la distribution de la malaria était auparavant restreinte par la latitude. Par contraste, le nord de l'Afrique n'est pas touché parce que l'aire de distribution correspond à la région du Sahel, où l'absence de précipitations et les températures élevées limitent la maladie (tout comme au Botswana). Par contre, dans certaines régions du sud de l'Afrique, notamment en Afrique du Sud, les basses températures avaient auparavant un effet limitatif, et il est donc probable qu'il y aura une augmentation de la distribution.

soient) sont exposées à des maladies qu'elles n'ont jamais connues, ce qui accroît considérablement les taux de morbidité et de mortalité. En outre, les régions qui étaient depuis toujours à faible risque peuvent devenir plus vulnérables. Les conséquences de ces changements, notamment chez les populations qui ne sont pas immunisées, sont très graves (du point de vue individuel, social et économique) pour les personnes exposées et les autorités sanitaires.

Rogers (1996) a modélisé l'effet des changements climatiques prévus sur la distribution de trois importants vecteurs de maladies dans le sud

de l'Afrique : les moustiques, les mouches tsé-tsé et les tiques. Les maladies humaines transmises par ces vecteurs sont la malaria (par les moustiques) et la trypanosomiose africaine humaine (par les mouches tsé-tsé). Les changements climatiques peuvent modifier non seulement les contraintes physiologiques exercées sur le vecteur, mais aussi la capacité de survie du parasite dans le vecteur (Molineaux, 1988).

En Afrique, il existe peu de preuves du rapport de cause à effet entre la transmission des maladies et le climat. Ce manque de preuves, au lieu d'infirmier cette causalité, est peut-être dû à l'insuffisance des données

épidémiologiques résultant de l'inefficacité des systèmes de surveillance et d'information en matière de santé ou de leur inexistence. Sur le continent africain, 71,3 % de toutes les maladies sont infectieuses, et 10,8 % d'entre elles sont dues uniquement à la malaria. Les autres maladies à transmission vectorielle, helminthiques et environnementales sur lesquelles le climat produit un effet représentent environ 2 % de toutes les maladies. Parmi les maladies environnementales qui sévissent en Afrique, la malaria est la cause dans une proportion supérieure à 80 % de la perte d'années de vie pour des raisons d'invalidité (Banque mondiale, 1993; OMM, 1996b). Ces chiffres excluent la diarrhée, mais comprennent le choléra.

Plus de 80 % des maladies reliées au climat en Afrique sont causées par la malaria. Les relations physiologiques entre le climat, les vecteurs et les agents pathogènes ne sont que partiellement connues. La malaria fournit un bon exemple de la façon dont les changements climatiques éventuels peuvent agir sur les maladies environnementales et à transmission vectorielle. Dans certaines des régions les plus vulnérables aux changements climatiques, il existe des systèmes de surveillance et des données épidémiologiques qui permettront de passer des hypothèses aux rapports de cause à effet.

Le fer est l'un des oligo-éléments dont manquent les Africains qui souffrent de malnutrition. Les femmes et les enfants souffrent beaucoup plus d'anémie, et les femmes enceintes sont particulièrement à risque. En outre, l'une des principales causes de la mortalité due à la malaria aiguë et compliquée est l'anémie. Il est donc possible que les taux de morbidité et de mortalité augmentent dans les régions où les changements climatiques peuvent aggraver la situation alimentaire et augmenter la transmission de la malaria.

Les effets du climat sur l'état de santé augmenteront probablement partout en Afrique, surtout en raison du grand nombre de maladies et de la vulnérabilité du continent en matière d'atténuation et de situation alimentaire. A l'encontre d'autres régions du monde, l'Afrique est frappée par des maladies dont une bonne partie sont des maladies infectieuses sur lesquelles le climat a un effet. En Afrique, bon nombre de ces maladies sont plus graves dans les régions tropicales, et les taux d'infection arrivent au point de saturation. C'est donc à la périphérie des aires de distribution, où le climat réduit l'intensité de la transmission, que les effets des changements climatiques se manifesteront avec le plus de probabilité. En ce qui concerne la réduction de l'intensité, il est important de distinguer entre l'effet des précipitations et celui de la température. Si les précipitations réduisent l'aire de distribution, l'augmentation de la température pourra occasionner une diminution de l'incidence des maladies et de leur distribution. A l'inverse, là où les basses températures limitent actuellement la distribution, une augmentation de la température pourra occasionner un accroissement de l'intensité régionale et de l'aire de distribution.

#### 4. Evaluation intégrée des effets potentiels

On ne fait que commencer à faire l'évaluation intégrée des changements climatiques en Afrique. Plusieurs méthodes différentes sont employées pour les études nationales et la recherche de base. Ces méthodes comprennent l'évaluation d'exemples explicatifs de cas ayant trait aux écosystèmes, à la gestion de l'approvisionnement en eau et des bassins hydrographiques ainsi qu'aux activités socio-économiques comme

l'agriculture. Ces études de cas commencent à intégrer, pour certaines sous-régions (comme les bassins versants ou les zones de production agricole), les conséquences de l'évolution du climat aux effets possibles d'autres facteurs comme les nouvelles utilisations des terres, le changement démographique, la dégradation du sol, la pollution de l'air et de l'eau et les changements socio-économiques (y compris les nouvelles demandes de ressources résultant du développement économique et des changements technologiques).

Les modèles d'évaluation intégrée n'ont pas été beaucoup utilisés pour l'Afrique, même s'ils commencent à faire partie du programme de plusieurs groupes et organisations de modélisation. Leur utilisation plus généralisée est une priorité pour le GIEC dans son troisième rapport d'évaluation, mais il faudra pour cela réaliser des progrès considérables dans le domaine de la recherche. A cette fin, la recherche de base devra porter sur les conséquences qui s'ensuivront pour les secteurs et les régions pouvant être les plus vulnérables afin de permettre d'évaluer et de quantifier, si possible, les interactions entre les nombreux coûts et avantages potentiels.

#### 5. Principaux impératifs futurs pour l'Afrique

L'une des premières et plus pressantes mesures scientifiques à prendre pour combler le manque de données sur le climat africain consiste à entretenir et (si possible) à améliorer le réseau d'observation du climat en surface. Ce réseau est important parce que des stations d'observation stables et permanentes sont nécessaires pour déceler les changements climatiques à long terme. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a créé un programme visant à désigner et à entretenir des stations climatologiques de référence à certains endroits particulièrement importants. Ce programme doit être davantage reconnu et financé. Le réseau d'observation servira aussi à vérifier les nouvelles méthodes d'observation du climat à l'aide de satellites (OMM, 1992).

Il faut continuellement évaluer les résultats des MCG qui simulent les changements climatiques causés par les gaz à effet de serre et les aérosols afin de savoir comment réagiront probablement les sous-régions de l'Afrique au réchauffement planétaire moyen qui est prévu. Cette évaluation devrait s'inscrire dans le cadre des efforts beaucoup plus considérables actuellement déployés dans le monde afin de réduire les incertitudes que comportent les prédictions concernant les changements climatiques causés par les gaz à effet de serre. Il est très important de savoir si le récent assèchement du Sahel est relié d'une certaine façon à la pollution atmosphérique mondiale (Hastenrath, 1995; Ringius *et al.*, 1996).

En plus d'évaluer plus en détail la sensibilité et la vulnérabilité des principaux secteurs et systèmes d'exploitation des ressources, il faut de toute urgence, tel que proposé dans l'introduction du présent rapport, commencer à appliquer, sous plusieurs angles, les techniques existantes et nouvelles d'intégration des effets possibles des changements climatiques :

- Intégrer la suite d'effets résultant des changements dans la composition de l'atmosphère et du climat aux changements dans les systèmes biophysiques et aux conséquences socio-économiques (la dimension "verticale").
- Inclure les interactions entre les systèmes, les secteurs et les activités (la dimension "horizontale").

- Examiner les changements climatiques dans le contexte d'autres tendances et changements dans la société (la dimension "temporelle" ou "de l'évolution mondiale").
- Examiner les effets intégrés des épisodes et des niveaux actuels de variabilité climatique.

Compte tenu du grand nombre de changements socio-économiques et environnementaux prévus pour l'Afrique et de leur ampleur, il faut de toute urgence accorder la priorité aux évaluations intégrées des changements climatiques dans la région.

A mesure que ces renseignements sur les vulnérabilités sectorielles seront obtenus et qu'une évaluation intégrée des effets possibles des changements climatiques sera faite, il faudra que les organisations gouvernementales nationales et les organismes donateurs internationaux en prennent davantage conscience. Cette prise de conscience est nécessaire pour assurer que les connaissances acquises au sujet de la variabilité climatique passée et présente soient prises en considération comme il se doit dans l'établissement des plans nationaux pour l'économie et l'environnement (Sadowski *et al.*, 1996). Une telle sensibilisation des décideurs à la variabilité climatique permettra aussi d'assurer qu'une meilleure compréhension des futurs changements climatiques pourra en outre servir de façon appréciable à orienter la politique économique relative à la sécheresse et au climat (OCDE, 1996).

En Afrique, les priorités de la politique environnementale consistent à assurer un approvisionnement durable en eau de bonne qualité, à prévenir et à renverser la désertification, à lutter contre l'érosion des côtes et la pollution, à assurer un développement industriel durable, à utiliser efficacement les ressources énergétiques, à préserver les forêts et les ressources fauniques, à gérer le changement démographique et à faire en sorte que la sécurité alimentaire soit suffisante. Ces priorités mettent en évidence les problèmes d'environnement et de développement qui se posent dans la région et dont les chercheurs et les décideurs doivent s'occuper immédiatement (Hulme, 1996a).

## Références

- Akong'a, J., T.E. Downing, N.T. Konijn, D.N. Mungai, H.R. Muturi et H.L. Potter**, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in central and eastern Kenya. Dans: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Assessments in Semi-Arid Regions* [Parry, M.L., T.R. Carter et N.T. Konijn (éd.)]. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Pays-Bas, p. 123–270.
- Allersman, E. et W.K. Tilsmans**, 1993: Coastal conditions in West Africa: A review. *Ocean and Coastal Management*, 19, p. 199–240.
- Ante, B.**, 1990: Impacts of climate change on the socioeconomic structure and activities in the Mediterranean region. Dans: *Changing Climate and the Coast*, volume 2 [Titus, J.G. (éd.)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, E.-U., p. 127–138.
- Archer, S., D.S. Schimel et E.A. Holland**, 1994: Mechanisms of shrubland expansion: Land use, climate or CO<sub>2</sub>? *Climatic Change*, 29, p. 91–99.
- Awosika, L.F., G.T. French, R.T. Nicholls et C.E. Ibe**, 1992: The impacts of sea level rise on the coastline of Nigeria [O'Callahan, J. (éd.)]. Dans: *Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea*. Compte rendu de l'atelier du GIEC à l'île Margarita, Venezuela, du 9 au 13 mars 1992. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD, E.-U., 690 p.
- Bagayako, M.**, 1996: Malaria Research and Training Centre, Bamako, Mali. (communication personnelle)
- Balek, J.**, 1977: *Hydrology and Water Resources in Tropical Africa*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Pays-Bas, 27 p.
- Banque africaine de développement, Fonds africain de développement, Programme énergétique pour l'Afrique (BAD PEA)**, 1996: *Energy and Environmental Interactions*. Technical Paper No. EE1, Energy and Environment Technical Paper Series, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Banque mondiale**, 1990: *World Development Report 1990: Poverty*. Banque mondiale et Oxford University Press, New York, NY, E.-U., 272 p.
- Banque mondiale**, 1993: *Rapport sur le développement dans le monde : Investir dans la santé*. Oxford University Press, New York, NY, E.-U., 329 p.
- Banque mondiale**, 1995a: *A Framework for Integrated Coastal Zone Management in Sub-Saharan Africa: Building Blocks for Environmentally Sustainable Development in Africa*. Paper No. 4, Africa. Technical Department. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U.
- Banque mondiale, 1995b**: *Toward Environmentally Sustainable Development in Sub-Saharan Africa*. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., 300 p.
- Banque mondiale**, 1996: *Toward Environmentally Sustainable Development in Sub-Saharan Africa: a World Bank Agenda*. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., 140 p. Benson, C. et E. Clay, 1994: The impact of drought on sub-Saharan African economies. *Bulletin de l'UID*, 25(4), 24–32.
- Binet, D., L. LeReste et P.S. Diouf**, 1995. Influence des eaux de ruissellement et des rejets fluviaux sur les écosystèmes et les ressources vivantes des côtes d'Afrique occidentale. Dans: *FAO Fisheries Technical Paper, Effects of Riverine Inputs on Coastal Ecosystems*. Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- Blaikie, P.M. et H.C. Brookfield**, 1987: *Land Degradation and Society*. Methuen, Londres, R.-U. et New York, E.-U., 296 p.
- Bonkougou, E.G.**, 1996: Drought, desertification and water management in sub-Saharan Africa. Dans: *Sustaining the Future: Economic, Social, and Environmental Change in Sub-Saharan Africa* [Benneh, G., W.B. Morgan et J.I. Uitto (éd.)]. United Nations University Press, New York, NY, E.-U., p. 165–180.
- Booth, T. H.**, 1990: Mapping regions climatically suitable for particular tree species at the global scale. *Forest Ecology and Management*, 36, p. 47–60.
- Bootsma, H.A. et R.F. Hecky**, 1993: Conservation of the African Great Lakes: a limnological perspective. *Conservation Biology*, 7, p. 644–656.
- Bouma, M.J., H.E. Sondorp et H.J. van der Kaay**, 1994: Climate change and periodic epidemic malaria. *Lancet*, p. 343, 342.
- Bradley, P. et P. Dewees**, 1993: Indigenous woodlands, agricultural production and household economy in the communal areas. Dans: *Living with Trees: Policies for Forestry Management in Zimbabwe* [Bradley, P.N. et K. McNamara (éd.)]. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., p. 63–137.
- Broadus, J., S. Milliman, D. Edwards, D.G. Aubrey et F. Bable**, 1986: Rising sea level and damming of rivers: possible effects in Egypt and Bangladesh. Dans: *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, volume 4 [Titus, J.G., (éd.)]. U.S. Environmental Protection Agency et PNUE, Washington, DC, E.-U., p. 165–189.
- Buckland, R.W.**, 1992: Cereal Output in the SADCC Region During Dry Spells. Atelier régional de la SADC sur les changements climatiques, Windhoek, Namibie.
- Burke, J.J., J.R. Mahan et J.L. Hatfield**, 1988: Crop-specific thermal kinetic windows in relation to wheat and cotton biomass production. *Agronomy Journal*, 80, p. 553–556.
- Calder, I.R., R.L. Hall, H.G. Bastable, H.R. Gunston, O. Shela, A. Chirwa et R. Kafundu**, 1995: The impact of land use change on water resources in sub-Saharan Africa: a modelling study of Lake Malawi. *Journal of Hydrology*, 170, p. 123–135.
- Carpenter, S.R., S.G. Fisher, N.B. Grimm et J.F. Kitchell**, 1992: Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecological Systems*, 23, p. 119–139.

- Chidumayo, E.N.**, 1997: Miombo Ecology and Management. IT Publications, Londres, Royaume-Uni (sous presse).
- Chilima, C.Z.**, 1991: The status and development of conifer aphid damage in Malawi. Dans: Exotic Aphid Pests of Conifers. A Crisis in African Forestry. Compte rendu d'un atelier tenu à Maguga, Kenya, du 3 au 6 juin 1991. Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, p. 64–67.
- Chilima, C.Z.**, 1997: Forest Research Institute of Malawi, Zomba, Malawi. (communication personnelle)
- Cleaver, K.M. et G.A. Schreiber**, 1994: Reversing the Spiral: the Population, Agriculture and Environment Nexus in Sub-Saharan Africa: Directions on Development Series. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., 293 p.
- Cline, W.R.**, 1992: The Economics of Global Warming. Institute for International Economics, Washington, DC, E.-U., 408 p.
- CCNUCC**, 1992: Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Nations Unies, New York, NY, E.-U., 29 p.
- Conway, D. et M. Hulme**, 1993: Recent fluctuations in precipitation and runoff over the Nile sub-basins and their impact on main Nile discharge. *Clim. Change*, 25, p. 127–151.
- Conway, D. et M. Hulme**, 1996: The impacts of climate variability and future climate change in the Nile Basin on water resources in Egypt. *Water Resources Development*, 1(2/3), p. 277–296.
- Cooper, J. et P.A.R. Hockey**, 1981: The Atlas and Site Register of South African Coastal Birds. Part 2, The Atlas. Report to South African National Committee for Oceanographic Research, 324 p.
- Craig, M. et D. Le Sueur** (en préparation): African Climatic Model of Malaria Transmission Based on Monthly Rainfall and Temperature. 16 p.
- Davidson, O.R.**, 1992: Energy issues in sub-Saharan Africa: future directions. *Annual Review of Energy and the Environment.*, 17, p. 359–404.
- Davies, S.**, 1996: Adaptable Livelihoods: Coping with Food Insecurity in the Malian Sahel.
- Dennis, K.C., I. Niang-Diop et R.J. Nicholls**, 1995: Sea level rise and Senegal: potential impacts and consequences. *J. Coastal Res.*, numéro spécial 14, p. 243–261.
- De Ridder, N., L. Stroosnijder, A.M. Cisse et H. van Keulen**, 1982: PPS course book. Vol. I, Theory. Productivity of Sahelian Rangelands: A Study of the Soils, the Vegetations and the Exploitation of That Natural Resource. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Pays-Bas, p. 227–231.
- Desanker, P.V.**, 1996: Development of a Miombo woodland dynamics model in Zambesian Africa using Malawi as a case study. *Climatic Change*, 36, 279–288.
- Downing, T.E.**, 1992: Climate Change and Vulnerable Places: Global Food Security and Country Studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal, and Chile. Research Paper No. 1, Environmental Change Unit, University of Oxford, Oxford, Royaume-Uni, 54 p.
- Downing, T.E.** (éd.), 1996: Climate Change and World Food Security. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne, 662 p.
- Downing, T.E., S. Lezberg, C. Williams et L. Berry**, 1990: Population change and environment in central and eastern Kenya. *Environmental Conservation*, 17(2), p. 123–133.
- Downing, T.E., M.J. Watts et H.G. Bohle**, 1996: Climate change and food insecurity: Toward a sociology and geography of vulnerability. Dans: Climate Change and World Food Security [Downing, T.E. (éd.)]. Springer-Verlag, Berlin, Allemagne, p. 183–206.
- Dregne, H.E.**, 1983: Desertification of Arid Lands. Harwood Academy, New York, NY, E.-U., 242 p.
- Du Toit, R.F.**, 1983: Hydrological changes in the Middle-Zambezi system. *The Zambezi Science News*, 17(708), p. 121–126.
- Eele, G.**, 1996: Policy lessons from communities under pressure. Dans: Climate Change and World Food Security [Downing, T.E. (éd.)]. Springer-Verlag, Heidelberg, Allemagne, p. 184–206.
- Eid, H.M.**, 1994: Impact of climate change on simulated wheat and maize yields in Egypt. Dans: Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study [Rosenzweig, C. et A. Iglesias (éd.)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, E.-U., p. 1–14.
- Ellis, J.E. et K.A. Galvin**, 1994: Climate patterns and land use practices in the dry zones of east and west Africa. *Bioscience*, 44(5), p. 340–349.
- Ellis, J.E., K.A. Galvin, J.T. McCabe et D.M. Swift**, 1987: Pastoralism and drought in Turkana District Kenya. Report to the Norwegian Agency for International Development, Nairobi, Kenya.
- El-Raey, M.**, 1990: Response to the impacts of greenhouse-induced sea-level rise on the northern coastal regions of Egypt. Dans: Changing Climate and the Coast, volume 2 [Titus, J.G. (éd.)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, E.-U., p. 225–238.
- El-Raey, M., S. Nasr, O. Frihy, S. Desouke et K.H. Dewidar**, 1995: Potential impacts of accelerated sea level rise on Alexandria Governate, Egypt. *J. Coastal Res.*, numéro spécial 14, p. 190–204.
- El-Sayed, M.K.**, 1991: Implications of Relative Sea Rise on Alexandria. Dans: Proceedings of First International Meeting (Cities on Water), décembre 1989, Venise, Italie, [Frassetto, R. (éd.)]. Marsilio Editori, p. 183–189.
- Epstein, P.R.**, 1992: Cholera and the environment. *Lancet*, 339, p. 1167–1168.
- Epstein, P.R.**, 1993: Algal blooms in the spread and persistence of cholera. *BioSystems*, 31(3), p. 209–221.
- Epstein, P.R.**, 1995: Emerging diseases and ecosystem instability: new threats to public health. *American Journal of Public Health*, 85, p. 168–172.
- Epstein, P.R., T.E. Ford et R.R. Collwell**, 1993: Marine ecosystems. *Lancet*, 342, p. 1216–1219.
- Everett, G.V.**, 1994: Promoting industrial fisheries in West Africa, *FAO Fish. Circ.*, no. 857, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 56 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization)**, 1985: The Ecological Effects of Eucalyptus. *FAO Forestry Paper 59*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 88 p.
- FAO**, 1993: Yearbook Production: Volume 46, 1992. *FAO Statistical Series No. 112*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- FAO**, 1994: Review of Pollution in the African aquatic environment [D. Calamari et H. Naeve (éd.)]. *CIFA Technical Paper 25*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- FAO**, 1997: State of the World's Forests 1997, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- Fischer, G., K. Frohberg, M.L. Parry et C. Rosenzweig**, 1994: Climate change and world food supply, demand and trade. Who benefits, who loses? *Global Environmental Change*, 4(1), p. 7–23.
- Fischer, G., K. Frohberg, M.L. Parry et C. Rosenzweig**, 1996: Impacts of potential climate change on global and regional food production and vulnerability. Dans: Climate Change and World Food Security [T.E. Downing (éd.)]. Springer, Heidelberg, Allemagne, p. 115–160.
- Fischer, G. et H.T. van Velthuisen**, 1996: Climate Change and Global Agricultural Potential Project: A Case Study of Kenya. WP-96-071. Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués, Laxenburg, Autriche, 50 p.
- French, G.T., L.F. Awosika et C.E. Ibe**, 1995: Sea level rise and Nigeria: potential impacts and consequences. *J. Coastal Res.*, numéro spécial 14, p. 224–242.
- Frost, P.G.H.**, 1996: The ecology of miombo woodlands. Dans : The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa. [Campbell, B. (éd.)]. CIFOR, Bogor, Indonésie, p. 11–57.

- Galvin, K.A.**, 1992: Nutritional ecology of pastoralists in dry tropical Africa. *American Journal of Human Biology*, 4(2), p. 209–221.
- Gibberd, V., J. Rook, C.B. Sear et J.B. Williams**, 1996: Drought Risk Management in Southern Africa: the Potential of Long Lead Climate Forecasts for Improved Drought Management. Chatham Maritime, Natural Resources Institute, Chatham Maritime.
- Gibbs, J.P.**, 1993: Importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland associated animals. *Wetlands*, 13, p. 25–31.
- GIEC**, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. [Houghton, J.T., G.J. Jenkins et J.J. Ephraums (éd.)]. Cambridge University Press, New York, NY, E.-U., et Cambridge, Royaume-Uni, 365 p.
- Mitchell, J.F., S. Manabe, T. Tokioka et V. Meleshko, Chapter 5. Equilibrium Climate Change — and its Implications for the Future, p. 131–172.
  - Folland, C.K., T. Karl et K.Y. Vinnikov, Chapter 7. Observed Climatic Variations and Change, p. 195–238.
  - Wigley, T.M.L. et T.P. Barnett, Chapter 8. Detection of the Greenhouse Effect in the Observations, p. 239–256.
- GIEC**, 1996: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg et K. Maskell (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 572 p.
- GIEC**, 1996: Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T., M.C. Zinyowera et R.H. Moss (éd.)]. Cambridge University Press, New York, NY, E.-U., et Cambridge, Royaume-Uni, 880 p.
- Kirschbaum, M.U.F., Chapter A. Ecophysiological, Ecological, and Soil Processes in Terrestrial Ecosystems: A Primer on General Concepts and Relationships, p.57–74.
  - Allen-Diaz, B., Chapter 2. Rangelands in a Changing Climate: Impacts, Adaptations and Mitigation, p. 131–158.
  - Noble, I.R. et H. Gitay, Chapter 3. Deserts in a Changing Climate: Impacts, p. 159–189.
  - Beniston, M. et D.G. Fox, Chapter 5. Impacts of Climate Change on Mountain Regions, p. 191–213.
  - Arnell, N., B. Bates, H. Lang, J.J. Magnuson et P. Mulholland, Chapter 10. Hydrology and Freshwater Ecology, p. 325–364.
  - Everett, J., Chapter 16. Fisheries, p. 511–537.
- Gleick, P.H.**, 1993: Water in Crisis. Oxford University Press, Oxford, R.-U., 473 p.
- Greco, S., R.H. Moss, D. Viner et R. Jenne**, 1994: Climate Scenarios and Socio-Economic Projections for IPCC WGII Assessment. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Washington, DC, E.-U., 67 p.
- Griffiths, J.F.** (éd.), 1972: Climates of Africa. World Survey of Climatology, Volume 10. Elsevier, New York, NY, E.-U., 604 p.
- Grimble, R. et M.-K. Chan**, 1995: Stake holder analysis for natural resource management in developing countries: Some practical guidelines for making management more participatory and effective. *Natural Resources Forum*, 19, p. 113–124.
- Haberyan, K.A. et R.E. Hecky**, 1987: The Late Pleistocene and Holocene stratigraphy and paleolimnology of Lakes Kivu and Tanganyika. *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*, 61, p. 169–197.
- Hamilton, A.C.**, 1988: Guenon evolution and forest history. Dans: A Primate Radiation: Evolutionary Biology of the African Guenons [Gautier-Hion, A., F. Bourliere, J.P. Gantier et J. Kingdon (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 13–34.
- Harcourt, A.H., K.J. Stewart et J.M. Inahoro**, 1989: Gorilla quest in Nigeria. *Oryx*, 23(1), p. 7–13.
- Hastenrath, S.**, 1995: Recent advances in tropical climate prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 8, p. 1519–1532.
- Haxeltine, A. et I.C. Prentice**, 1996: BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability and competition among plant functional types. *Global Biogeochemical Cycles*, 10, p. 693–710.
- Hecky, R.E., F.W.B. Bugenyi, P. Ochumba, J.F. Talling, R. Mugidde, M. Gophen et L. Kaufman**, 1994: Deoxygenation of the deep water of Lake Victoria, East Africa. *Limnology and Oceanography*, 39, p. 1476–1481.
- Hecky, R.E., E.J. Fee, H.J. Kling et J.M.W. Rudd**, 1981: Relationship between primary productivity and fish production in Lake Tanganyika. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110, p. 336–345.
- Hernes, H., A. Dalfelt, T. Berntsen, B. Holtmark, L.O. Naess, R. Selrod et A. Aaheim**, 1995: Climate Strategy for Africa. Cicero Report No. 1995(3), Cicero, Oslo, Norvège, 83 p.
- Hinckley, T.M., R.O. Teskey, F. Duhme et H. Richter**, 1981: Temperate hardwood forests. Dans: Water deficits and plant growth. VI. Woody plant communities [Kozłowski, T.T. (éd.)]. Academic Press, New York, NY, p. 153–208.
- Hlohowskyj, I., M.S. Brody et R.T. Lackey**, 1996: Methods for assessing the vulnerability of African fisheries resources to climate change. *Climate Research*, 6, p. 97–106.
- Hulme, M.**, 1996a: Climatic change within the period of meteorological records. Dans: The Physical Geography of Africa [Adams, W.M., A.S. Goudie et A.R. Orme (éd.)]. Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni, 429 p.
- Hulme, M.**, 1996b: Climate Change and Southern Africa: an Exploration of Some Potential Impacts and Implications in the SADC Region. Rapport commandé par le FMN International et coordonné par la section de la recherche climatique, UEA, Norwich, Royaume-Uni, 104 p.
- Hulme, M., D. Conway, P.M. Kelly, S. Subak et T.E. Downing**, 1995: The Impacts of Climate Change on Africa. Stockholm Environment Institute, Stockholm, Suède, 46 p.
- Huq, S., L.J. Mata, I. Nemesova et S. Toure**, 1996: Chapter 4—Regional Summary. Dans: Vulnerability and Adaptation to Climate Change: a Synthesis of Results from the U.S. Country Studies [Lenhart, S., S. Huq, L.J. Mata, I. Nemesova et S. Toure. (éd.)]. U.S. Country Studies Program, Washington, DC, E.-U., p. 69–108.
- Hutchinson, M.F., H.A. Nix, J.P. McMahon et K.D. Ord**, 1995: Africa: a Topographic and Climatic Database. Version 1.0, octobre 1995. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra, Australie.
- Ibe, A.C.**, 1990: Adjustments to the impact of sea level rise along the West and Central African coasts. Dans: Changing Climate and the Coast, vol. 2 [Titus, J.G. (éd.)]. Compte rendu du premier atelier du GIEC sur la ZCIT, Miami, du 27 novembre au 1er décembre 1989, Environmental Protection Agency, Washington, DC, E.-U., p. 3–12.
- Ibe, A.C. et R.E. Queleannac**, 1989: Methodology for assessment and control of coastal erosion in west Africa and central Africa. UNEP Regional Sea Reports and Studies No. 107. Programme des Nations Unies pour l'environnement, New York, NY, E.-U.
- ICST (Ivorian Country Study Team)**, 1996: Vulnerability of Coastal Zone of Côte d'Ivoire to Sea Level Rise and Adaptation Options. Report on the Côte d'Ivoire/E.-U. Etude en collaboration sur les changements climatiques en Côte d'Ivoire.
- IRM (Institut des ressources mondiales)**, 1990: World Resources 1990–1991. Institut des ressources mondiales/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour le développement/ Banque mondiale. Oxford University Press, New York, NY, E.-U.
- IRM**, 1994: World Resources: A Guide to the Global Environment, 1994–1995. Institut des ressources mondiales/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour le développement/ Banque mondiale. Oxford University Press, New York, NY, E.-U., 400 p.

- IRM**, 1996: World Resources: A Guide to the Global Environment, 1996–97. Institut des ressources mondiales/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour le développement/ Banque mondiale. Oxford University Press, New York, NY, E.-U., 342 p.
- Jallow, B.P., M.K.A. Barrow et S.P. Leatherman**, 1996: Vulnerability of the coastal zone of The Gambia to sea level rise and development of response options. *Clim. Res.*, 6, p. 165–177.
- Joubert, A.M.**, 1995: Simulations of southern African climate by early-generation general circulation models. *South African J. Science*, 91, p. 85–91.
- Jury, M.**, 1996: Malaria Forecasting Workshop: Report on Workshop on Reducing Climate Related Vulnerability in Southern Africa. Victoria Falls, Zimbabwe. Office of Global Programs, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC, E.-U., p. 73–84.
- Justice, C., B. Scholes et P. Frost**, 1994: African Savannas and the global atmosphere: research agenda:IGBP Report 31. Programme international concernant la géosphère et la biosphère, Stockholm, Suède, 51 p.
- Kane, H.**, 1996: Shifting to Sustainable Industries. Dans: State of the World 1996: a Worldwatch Institute report on progress toward a sustainable society. W.W. Norton and Company, New York, E.-U. et Londres, Royaume-Uni, p. 152–167.
- Kassas, M.**, 1995: Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*, 30(2), p. 115–128.
- Katerere, Y.**, 1983: Insect pests of pine plantations in the eastern districts of Zimbabwe, 1. Preliminary list. *Zimbabwe Journal of Agricultural Research*, 21, p. 101–105.
- Kendall, R.L.**, 1969: An ecological history of the Lake Victoria basin. *Ecological Monographs*, 39, 1p. 21–176.
- Khafagy, A.A., C.H. Hulsbergen et G. Baarse**, 1992: Assessment of the vulnerability of Egypt to sea level rise. Dans: *Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea* [O'Callahan, J. (éd.)]. Compte rendu de l'atelier du GIEC, mars 1992, île Margarita, Venezuela. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD, E.-U.
- Kingdon, J.S.**, 1980: The role of visual signals and face patterns in African forest monkeys (guenons) of the genus *Cercopithecus*. *Transactions of the Zoological Society, Londres*, 35, p. 425–75.
- Klaus, D.**, 1978: Spatial distribution and periodicity of mean annual precipitation south of the Sahara. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. Ser. B.*, 26, p. 17–27.
- Knight, R. et C. Neville**, 1991: The Malaria Situation in Kenya, Seasonal Epidemic and Non-Endemic Ecozones. Internal report to National Malaria Control Programme Subcommittee.
- Knoch, K. et A. Schulze**, 1956: Niederschlag. Temperatur und Schwüle in Afrika. Dans: *World Atlas of Epidemic Diseases*, volume 2. Heidelberg Akademie der Wissenschaften, Heidelberg, Allemagne.
- Kraus, E.B.**, 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Mon. Wea. Rev.*, 105, p. 1009–1018.
- Krippendorf, J.**, 1984: The capital of tourism in danger. Dans: *The Transformation of Swiss Mountain Regions* [Brugger, E.A. et al.(éd.)]. Haupt Publishers, Berne, Suisse, p. 427–450.
- Lauenroth, W.K. et J.L. Dodd**, 1978: The effects of water- and nitrogen-induced stress on plant community structure in a semiarid grassland. *Oecologia*, 36, p. 211–222.
- Leeson, H.S.**, 1931: Anopheline mosquitoes in southern Rhodesia. *Mem. London Sch. Hyg. Trop. Med.*, 4, p. 1.
- Le Houerou, H.N.**, 1989: *The Grazing Land Ecosystems of the African Sahel*. Springer-Verlag, New York, NY, E.-U.
- Le Sueur, D. et B.L. Sharp**, 1996: Malaria Forecasting Project: Report on Workshop on Reducing Climate Related Vulnerability in Southern Africa. Victoria Falls, Zimbabwe. Office of Global Programs, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC, E.-U., p. 65–73.
- Levins, R., T. Awerbuch, U. Brinkman, I. Eckardt, P. Epstein, N. Makhoul, C. Albuquerque de Possas, C. Puccia, A. Spilman et M.E. Wilson**, 1994: The emergence of new diseases. *American Scientist*, 82, p. 52–60.
- Lewis, D., P. Reinthal et J. Trendall**, 1986: *A Guide to the Fishes of Lake Malawi National Park*. Fonds mondial pour la nature, World Conservation Center, Gland, Suisse.
- Livingstone, D.A.**, 1975: Late quaternary climatic change in Africa. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 6, p. 249–280.
- Loevinsohn, M.E.**, 1994: Climatic warming and increased malaria incidence in Rwanda. *Lancet*, 343, p. 714–717.
- Lowe-McConnell, R.H.**, 1987: *Ecological Studies in Tropical Fish Communities*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- Magadza, C.H.D.**, 1984: An analysis of plankton from Lake Bangweulu, Zambia. *Hydrobiologie du bassin du lac Bangweolo et du Luapula* [Symoens, J.J., (éd.)].
- Magadza, C.H.D.**, 1991: Some possible impacts of climate change on African ecosystems. Dans: *Climate Change. Science, Impacts and Policy*. Compte rendu de la deuxième conférence mondiale sur le climat [Jager, J. et H.L. Ferguson (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 385–390.
- Magadza, C.H.D.**, 1996: Climate change: some likely multiple impacts in southern Africa. Dans: *Climate Change and World Food Security* [Downing, T.E. (éd.)]. Springer-Verlag, Heidelberg, Allemagne, p. 449–483.
- Makadho, J.M.**, 1996: Potential effects of climate change on corn production in Zimbabwe. *Climate Research*, 6, p. 147–151.
- Makarau, A.**, 1992: National Drought and Desertification Policies: the Zimbabwe Situation. Atelier régional de la SADC sur les changements climatiques, 1992. Windhoek, Namibie.
- Martens, W.J.M., T.H. Jetten, J. Rotmans et L.W. Niessen**, 1995a: Climate change and vector-borne diseases: a global modelling perspective. *Global Environmental Change*, 5, p. 195–209.
- Martens, W.J.M., L.W. Niessen, J. Rotmans, T.H. Jetten et A.J. McMichael**, 1995b: Potential impact of global climate change on malaria risk. *Environmental Health Perspectives*, 103, p. 458–464.
- Martin, P. et M. Lefebvre**, 1995: Malaria and climate: sensitivity of malaria potential transmission to climate. *Ambio*, 24(4), p. 200–220.
- Martyn, D.**, 1992: *Climates of the World, Developments in Atmospheric Science*, 18. Elsevier, New York, NY, E.-U., 435 p.
- Matarira, C.H., W. Kamukondiwa, F.C. Mwamuka, J.M. Makadho et L.S. Unganai**, 1996: Vulnerability and adaptation assessments in Zimbabwe. Dans: *Vulnerability and Adaptation to Climate Change: a Synthesis of Results from the U.S. Country Studies* [Lenhart, S., S. Huq, L.J. Mata, I. Nemesova, S. Toure et J.B. Smith (éd.)]. U.S. Country Studies Program, Washington, DC, E.-U., p. 129–140.
- McMichael, A. J., A. Haines, R. Sloof et S. Kovats (éd.)**, 1996: *Climate Change and Human Health*. Organisation mondiale de la santé, Genève, 297 p.
- Meisner, J.D., J.L. Goodie, H.A. Regier, B.J. Shuter et W.J. Christie**, 1987: An assessment of the effect of climate warming on Great Lakes Basin fish. *J. Gr. L. Res.*, 13, p. 340–352.
- Menaut, J.C., J. Gignoux, C. Prado et J. Clobert**, 1991: The community dynamics in a humid savanna of the Côte d'Ivoire: modeling the effects of fire and competition with grass and neighbors. *J. Biogeogr.*, 17, p. 471–481.
- Michael, E. et D.A.P. Bundy**, 1996: The global burden of lymphatic filariasis. Dans : *World Burden of Diseases* [Murray, C.J.L. et A.D. Lopez (éd.)]. Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse.
- Milliman, J., J. Broadhaus et F. Gable**, 1989: Environmental and economic implications of rising sea level and subsiding deltas, the Nile and Bengal examples. *Ambio*, 18, p. 70–76340–345.
- Milton, S.J., W. Richard, J. Dean, M.A. du Plessis et W. Roy Siegfried**, 1994: A conceptual model of arid rangeland degradation. *Bioscience*, 44, p. 70–76.

- Mkanda, F.X.**, 1996: Potential impacts of future climate change on nyala (*Tragelaphus angasi*) in Lengwe National Park, Malawi. *Clim. Res.*, 6, p. 157–164.
- Molineaux, L.**, 1988: The epidemiology of human malaria as an explanation of its distribution, including some implications for control. Dans: Volume I, *Malaria: Principles and Practises of Malariology*. Longman Group, Royaume-Uni, p. 913–998.
- Mortimore, M.**, 1989: *Adapting to Drought: Farmers, Famines and Desertification in West Africa*. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 299 p.
- Moyo, S., P. O'Keefe et M. Sill**, 1993: *The Southern African Environment: Profiles of the SADC Countries*. ETC Foundation/Earthscan Publishers, Ltd., Londres, Royaume-Uni.
- Muchena, P.**, 1994: Implications of climate change for maize yields in Zimbabwe. Dans: *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study* [Rosenzweig, C. et A. Iglesias (éd.)]. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, E.-U., p. 1–9.
- Neilson, R.P.**, 1995: A model for predicting continental scale vegetation distribution and water balance. *Ecol. Appl.*, 5, p. 362–385.
- Newell, R.E., J.W. Kidson, D.G. Vincent et G.J. Boer**, 1972: *The General Circulation of the Tropical Atmosphere and Interactions with Extra-Tropical Latitudes*, volume 1. MIT Press, Cambridge, MA, E.-U., 258 p.
- Nicholls, R.J. et S.P. Leatherman**, 1994: Sea level rise and coastal management. Dans : *Geomorphology and Land Management in a Changing Environment* [McGregor, D. et D. Thompson (éd.)]. John Wiley and Sons, Royaume-Uni.
- Nicholls, R.J. et S.P. Leatherman**, 1995: The implications of accelerated sea-level rise for developing countries: a discussion. *J. Coastal Res.*, 14, p. 303–323.
- Nicholson, S.E.**, 1993: An overview of African rainfall fluctuations of the last decade. *Journal of Climate*, 6, p. 1463–1466.
- Nicholson, S.E.**, 1994a: A review of climate dynamics and climate variability in eastern Africa. Dans: *The Limnology, Climatology and Paleoclimatology of the East African Lakes* [Johnson, T.C. et E. Odada (éd.)]. Gordon and Breach, Londres, Royaume-Uni.
- Nicholson, S.E.**, 1994b: Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions. *Holocene*, 4, p. 121–131.
- Nicholson, S.E., J. Kim et J. Hoopingarner**, 1988: *Atlas of African Rainfall and its Interannual Variability*. Department of Meteorology, The Florida State University, Tallahassee, FL, E.-U., 237 p.
- O'Connor, T.G.**, 1991: Local extinction in perennial grasslands: a life-history approach. *Am. Nat.*, 137, p. 735–773.
- OCDE**, 1996: *Climate Change Policy Initiatives, the 1995/96 Update*. OECD Energy and the Environment Series, Paris, France, 185 p.
- OIES (Office for Interdisciplinary Earth Studies)**, 1991: *Arid Ecosystems Interactions: Recommendations for Drylands Research in the Global Change Research Program*. OIES Report 6, Boulder, Colorado, E.-U.
- Ojima, D.S., W.J. Parton, M.B. Coughenour et J.M.O. Scurlock**, 1996: Impact of climate and atmospheric carbon dioxide changes on grasslands of the world. Dans: *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands* [Breyer, A.I., D.O. Hall, J.M. Mellilo et G.I. Agren (éd.)]. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Chichester, NY, E.-U., Wiley, p. 271–309.
- Ojima, D.S., D.S. Schimel, W.J. Parton et C.E. Owensby**, 1994: Long- and short-term effects of fire on nitrogen cycling in tallgrass prairie. *Biogeochemistry*, 23, p. 1–18.
- Okoth-Ogendo, H.W.O. et J.B. Ojwang** (éd.), 1995: *A Climate for Development: climate change policy options for Africa*. African Centre for Technological Studies, Nairobi, Kenya, 264 p.
- OMM (Organisation météorologique mondiale)**, 1992: *The Third Long-Term Plan. Part II, Volume 1*. World Weather Watch Program. OMM, Genève, Suisse.
- OMM**, 1995: *Global Climate System Review: Climate System Monitoring*. OMM, Genève, Suisse.
- OMS (Organisation mondiale de la santé)**, 1990: *Potential Health Effects of Climatic Change: Rapport d'un Groupe de travail de l'OMS*. OMS/PAP/90.10, OMS, Genève, Suisse, 58 p.
- OMS**, 1994: *Progress Report Control of Tropical Diseases*. CTD/MIP/94.4, document inédit.
- OMS**, 1996a: *Climate Change and Human Health*. Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 297 p.
- OMS**, 1996b: *Investing in Health Research and Development*. Report of the Ad Hoc Committee on Health Research Relating to Future Intervention Options. OMS, Genève, Suisse, 278 p.
- Orondo, S.B.O. et R.K. Day**, 1994: Cypress aphid (*Cinara cupressi*) damage to a cypress (*Cupressus lusitanica*) stand in Kenya. *International Journal of Pest Management*, 40, p. 141–144.
- Owen, R.B., R. Crossley, T.C. Johnson, D. Tweddle, L. Kornfield, S. Davison, D.H. Eccles et D.E. Engstrom**, 1990: Major low levels of Lake Malawi and their implications for speciation rates in cichlid fishes. *Proceedings of the Royal Society, Londres, R.-U.*, 240, 519–553.
- Owuar, A.L.**, 1991: Exotic conifer aphids in Kenya, their current status and options for management. Dans: *Exotic Aphid Pests of Conifers. A Crisis in African Forestry*. Compte rendu d'un atelier tenu à Maguga, Kenya, du 3 au 6 juin 1991. Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, p. 58–63.
- PAHO**, 1994: Leishmaniasis in the Americas. *Epidemiological Bulletin*, 15(3), p. 8–13.
- Parton, W.J., M.B. Coughenour, J.M.O. Scurlock et D.S. Ojima**, 1996: Global grassland ecosystem modeling: development and test of ecosystem models for grassland ecosystems. Dans: *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands* [Breyer, A.I., D.O. Hall, J.M. Mellilo et G.I. Agren (éd.)]. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Chichester, NY, E.-U., Wiley, p. 229–269.
- Parton, W.J., B. McKeown, V. Kirchner et D. Ojima**, 1992: *CENTURY Users' Manual*. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Pinay, G.**, 1988: *Hydrobiological Assessment of the Zambezi River System: a Review*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) Document de travail WP-88-089 de l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués. IIASA, Laxenburg, Autriche, 116 p.
- PNUE**, 1992: *World Atlas of Desertification* [Middleton, N.J. et D.S.G. Thomas (éd.)]. Edward Arnold Publishers, Sevenoaks, Royaume-Uni, 69 p.
- Price Waterhouse**, 1994: *The Lowveld Conservancies: New Opportunities for Productive and Sustainable Land-Use*. Price Waterhouse Wildlife, Tourism, and Environmental Consulting, Save Valley, Bubiana and Chiredzi River Conservancies, Harare, Zimbabwe.
- Pritchard**, 1985: *Africa: a Study Geography for Advanced Students*. Longman, Zimbabwe.
- Rains, J.R., C.E. Owensby et K. Kemp**, 1975: Effects of nitrogen fertilization, burning, and grazing on reserve constituents of big bluestem. *J. Range Manage.*, 28, p. 358–362.
- Rangeley, R., B.M. Thiam, R.A. Andersen et C.A. Lyle**, 1994: *International River Basin Organizations in Sub-Saharan Africa*. Technical Paper No. 250. Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., 70 p.
- Rasmusson, E.M.**, 1987: Global climate change and vulnerability: effects on drought and desertification in Africa. Dans: *Drought and Hunger in Africa* [Glantz, M.H. (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 3–22.
- Reij, C., I. Scoones et C. Toulmin** (éd.), 1996: *Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa*. Earthscan Publications Ltd., Londres, Royaume-Uni, 260 p.

- Riebsame, W.E., K.M. Strzepek, J.L. Wescoat, Jr., R. Perrit, G.L. Graile, J. Jacobs, R. Leichenko, C. Magadza, H. Phien, B.J. Urbiztondo, P. Restrepo, W.R. Rose, M. Saleh, L.H. Ti, C. Tucci et D. Yates**, 1995: Complex river basins. Dans: *As Climate Changes, International Impacts and Implications* [Strzepek, K.M. et J.B. Smith (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 57–91.
- Rind, D.**, 1995: Drying out the tropics. *New Scientist*, 146, p. 36–40.
- Ringius, L., T.E. Downing, M. Hulme et R. Selrod**, 1996: Climate Change in Africa: Issues and Regional Strategy. Cicero Report No. 1996(2), Cicero, Oslo, Norvège, 154 p.
- Rogers, D.**, 1996: Changes in disease vectors. Dans: *Climate Change and Southern Africa: an Exploration of Some Potential Impacts and Implications in the SADC Region* [Hulme, M. (éd.)]. Rapport commandé par le Fonds mondial pour la nature International et coordonné par la section de la recherche climatique, UEA, Norwich, Royaume-Uni, p. 49–55.
- Rogers, D.J. et M.J. Packer**, 1993: Vector-borne diseases, models and global change. *Lancet*, 342, p. 1282–1284.
- Rogers, P.**, 1993: What water managers and planners need to know about climate change and water resources management. Dans: *Proc. Conference on Climate Change and Water Resources Management* [Ballentine, T. et E. Stakhiv (éd.)]. U.S. Army Institute for Water Resources, Fort Belvoir, VA, p. I/1–I/14.
- Rosenzweig, C. et M.L. Parry**, 1994: Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367(6450), p. 133–138.
- Sadowski, M., S. Meyers, F. Mullins, J. Sathaye et J. Wisniewski**, 1996: Methods of assessing GHG mitigation for countries with economies in transition. *Environ. Management*, 20 (Supplement 1), p. S1–S118.
- Salewicz, A.**, 1995: Impact of climate change on the operation of Lake Kariba hydropower scheme on the Zambezi river. Dans: *Water Resources Management in the Face of Climatic and Hydrologic Uncertainties* [Kaczmarek, Z. et al. (éd.)]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas.
- SARDC**, 1994: State of the Environment in Southern Africa. Rapport du Southern African Research and Documentation Center (SARDC) en collaboration avec l'UICN—l'Union mondiale pour la nature—et la Southern African Development Community, Harare, Zimbabwe, 332 p.
- Sayer, J. A., C.S. Harcourt et N.M. Collins**, 1992: The Conservation Atlas of Tropical Forests: Africa. Macmillan, pour l'Union mondiale pour la nature, 288 p.
- Scholes, R. J. et B.H. Walker**, 1993: An African Savanna. Synthesis of the Nylsvley Study. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 306 p.
- Schulze, R.E., G.A. Kiker et R.P. Kunz**, 1996: Global climate change and agricultural productivity in Southern Africa: thought for food and food for thought. Dans: *Climate Change and World Food Security* [Downing, T.E. (éd.)]. North Atlantic Treaty Organization ASI Series, Volume 137. Springer-Verlag, Berlin et Heidelberg, Allemagne, p. 421–447.
- Sene, K.J. et D.T. Pinston**, 1994: A review and update of the hydrology of Lake Victoria, East Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 39, p. 47–63.
- Serageldin, I.**, 1995: Nurturing Development (Aid and Cooperation in Today's Changing World). Banque mondiale, Washington, DC, E.-U.
- Sestini, G.**, 1989: The Implication of Climatic Changes for the Nile Delta. Report WG 2/14, PNUE/OCA, Nairobi, Kenya.
- Sharma, N.P., T. Damhaug, E. Gilgan-Hunt, D. Grey, V. Okaru et D. Rothberg**, 1996: African Water Resources: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. Document technique no 331, Banque mondiale, Washington, DC, E.-U., 115 p.
- Shope, R.**, 1991: Global climate change and infectious diseases. *Environmental Health Perspectives*, 96, p. 171–174.
- Sivakumar, M.V.K.**, 1991: Climate change and implications for agriculture in Niger. *Climatic Change*, 20, p. 297–312.
- Sivakumar, M.V.K.**, 1993: Global climate change and crop production in the Sudano-Sahelian zone of west Africa. Dans: *International Crop Science*, volume I. Crop Science Society of America, Madison, WI, E.-U.
- Smith, J.B. et S.S. Lenhart**, 1996: Climate change adaptation policy options. *Clim. Res.*, 6, p. 193–201.
- SOME, E.S.**, 1994: Effects and control of highland malaria epidemic in Uasin Gishu District, Kenya. *East African Medical Journal*, 71 (1), 2–8.
- Stanley, D.J. et A.G. Warne**, 1993: Nile Delta: recent geological evaluation and human impact. *Science*, 260, p. 628–634.
- Strzepek, K.M., S.C. Onyeji, M. Saleh et D.N. Yates**, 1995: An assessment of integrated climate change impacts on Egypt. Dans: *As Climate Changes: International Impacts and Implications*. [Strzepek, K.M. et J.B. Smith (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 180–200.
- Tietema, T., D.J. Tolsma, E.M. Veenendaal et J. Schroten**, 1991: Plant responses to human activities in the tropical savanna ecosystem of Botswana. *Vegetatio*, 115, p. 157–167.
- Tyson, P.R.**, 1986: *Climate Change and Variability in Southern Africa*. Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni, 220 p.
- USCSP (U.S. Country Studies Program)**, 1996: Vulnerability and Adaptation to Climate Change: a Synthesis of Results from the U.S. Country Studies [Smith, J., S. Huq, S. Lenhart, L.J. Mata, I. Nemesova et S. Toure (éd.)]. U.S. Country Studies Program. Kluwer, Norwell, MA, E.-U., 366 p.
- Usher, P.**, 1997: Comments on the 1996/97 Droughts in Kenya. (inédit).
- Van Dalaan, J.C. et H.H. Shugart**, 1989: OUTENIQUA — A computer model to simulate succession in the mixed evergreen forests of the Southern Cape, South Africa. *Landscape Ecology*, 24, p. 255–267.
- Vorosmarty, C.J. et B. Moore III**, 1991: Modeling basin-scale hydrology in support of physical climate and global biogeochemical studies: an example using the Zambezi River. *Surveys in Geophysics*, 12, p. 271–311.
- Vorosmarty, C.J., B. Moore III, A. Grace, B.J. Peterson, E.B. Rastetter et J. Mellilo**, 1991: Distributed parameter models to analyze the impact of human disturbance of the surface hydrology of a large tropical drainage basin in Southern Africa. Dans: *Hydrology for the Water Management of Large River Basins*. Compte rendu du symposium de Vienne tenu en août 1991. IAHS Publication No. 201 [van de Ven, F.H.M., D. Gutnecht, D.P. Loucks et K.A. Salewicz (éd.)], p. 233–244.
- Wenzel, R.P.**, 1994: A new Hantavirus infection in North America. *New England Journal of Medicine*, 330, 1004–1005.
- Westoby, M., B. Walker et I. Noy-Meir**, 1989: Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 42, p. 26–274.
- White, F.**, 1983: *The Vegetation of Africa*. UNESCO, Paris, France, 356 p.
- Wilhite, D.A. et W.E. Easterling**, 1987: *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Westview Press, Boulder, CO, E.-U. et Londres, Royaume-Uni.
- Williams, M.**, 1990: Understanding wetlands. Dans: *Wetlands: a threatened landscape* [Williams, M. (éd.)]. Basil Blackwell, Ltd., Oxford, R.-U., p. 1–14.
- Woodward, F.I. et W.L. Steffen**, 1996: Natural Disturbances and Human Land Use in Dynamic Global Vegetation Models. Rapport 38 du Programme international concernant la géosphère et la biosphère, Stockholm, Suède.
- Wullschlegel, S.D. et R.J. Norby**, 1992: Respiratory cost of leaf growth and maintenance in white oak saplings exposed to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Canadian Journal of Forest Research*, 22, p. 1717–1721.
- Zinyowera, M.C. et S.L. Uganai**, 1993: Drought in southern Africa. An update on the 1991–92 drought. *Drought Network News Int.*, 4(3), p. 3–4.