

Analyse scientifique et technique des incidences de l'évolution du climat, mesures d'adaptation et d'atténuation

Résumé à l'intention des décideurs

Groupe de travail II du GIEC
(Version provisoire du texte officiel)

1. Objet de l'évaluation

Le Groupe de travail II du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) a été chargé d'étudier l'état actuel des connaissances concernant les incidences de l'évolution du climat sur l'environnement physique, les écosystèmes, la santé et divers secteurs socio-économiques. Il a également été chargé d'analyser les informations disponibles sur les possibilités techniques et économiques de mettre en place un ensemble de stratégies d'adaptation et d'atténuation. Cette évaluation doit permettre d'obtenir des données scientifiques, techniques et économiques pouvant être utilisées notamment pour déterminer si l'ensemble des incidences envisageables constitue une "perturbation anthropique dangereuse du système climatique", selon les termes de l'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les

changements climatiques (CCNUCC), et pour évaluer les mesures d'adaptation et d'atténuation pouvant être adoptées dans la perspective de l'objectif ultime de la CCNUCC (voir l'encadré 1).

Encadré 1.

Objectif ultime de la CCNUCC (article 2)

“[...] stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai convenable pour i) que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, ii) que la production alimentaire ne soit pas menacée et iii) que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable.”

2. Nature du problème

Les activités humaines entraînent un accroissement de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui tend à produire un réchauffement du climat. Dans certaines régions, elles entraînent aussi l'apparition d'aérosols, qui ont tendance, au contraire, à produire un refroidissement du climat. Les simulations faites à partir de ces variations des gaz à effet de serre et des aérosols conduisent à une évolution globale et régionale du climat et des paramètres climatologiques tels que la température, les précipitations, l'humidité du sol et le niveau de la mer. Ces modélisations, couvrant la gamme des sensibilités possibles du climat à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre, décrite par le Groupe de travail I du GIEC, et l'amplitude des variations vraisemblables des émissions (scénarios IS92 du GIEC : voir le tableau1), conduisent, en prenant en compte les gaz à effet de serre et les aérosols, à un accroissement, d'ici l'an 2100, de la température moyenne globale à la surface d'environ 1 à 3,5 deg.C environ , et une élévation correspondante de 15 à 95 cm environ du niveau de la mer. La fiabilité des prévisions à l'échelle régionale reste faible et l'amplitude de changements éventuels dans la variabilité climatique reste incertaine. Cependant, on a

identifié des changements potentiels sérieux, tels qu'une recrudescence, dans certaines régions, de l'apparition d'élévations extrêmes des températures, d'inondations et de sécheresses, qui multiplient les probabilités d'incendies, d'invasions de parasites et de perturbations de la composition, de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, et notamment de leur productivité primaire.

La santé, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques (comme l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau), éléments essentiels au développement et au bien-être de l'humanité, sont sensibles aux variations du climat. Si de nombreuses régions sont susceptibles de souffrir des effets négatifs de l'évolution du climat, dont certains risquent d'être irréversibles, certains effets pourront être bénéfiques. La société doit donc s'attendre à des bouleversements multiples auxquels elle devra s'adapter.

Les décideurs doivent faire face, en présence d'incertitudes scientifiques considérables, aux risques que comportent les gaz à effet de serre émis par les activités humaines. Il convient de considérer ces incertitudes à la lumière de l'information qu'il est

Tableau 1. Résumé des hypothèses adoptées pour les six scénarios IS92 du GIEC

Scénario	Population	Croissance économique	Approvisionnement en énergie
IS92a, b	Banque mondiale, 1991 11,3 milliards en 2100	1990-2025: 2,9% 1990-2100: 2,3%	Pétrole classique: 12000 EJ Gaz naturel: 13000 EJ Le coût du solaire tombe à 0,075 \$ le kWh 191 EJ de biocombustibles disponibles à 70 \$ le baril ^a
IS92c	Scénario moyennement bas de l'ONU 6,4 milliards en 2100	1990-2025: 2,0% 1990-2100: 1,2%	Pétrole classique: 8000 EJ Gaz naturel: 7300 EJ Le coût du nucléaire baisse de 0,4 % par an
IS92d	Scénario moyennement bas de l'ONU 6,4 milliards en 2100	1990-2025: 2,7% 1990-2100: 2,0%	Pétrole et gaz: comme le scénario IS92c Le coût du solaire tombe à 0,065 \$ le kWh 272 EJ de biocombustibles disponibles à 50 \$ le baril
IS92e	Banque mondiale, 1991 11,3 milliards en 2100	1990-2025: 3,5% 1990-2100: 3,0%	Pétrole classique: 18400 EJ Gaz naturel: comme le scénario IS92a,b Abandon de la construction de centrales nucléaires à partir de 2075
IS92f	Scénario moyennement élevé de l'ONU 17,6 milliards en 2100	1990-2025: 2,9% 1990-2100: 2,3%	Pétrole et gaz: comme le scénario IS92e Le coût du solaire tombe à 0,083 \$ le kWh Le coût du nucléaire grimpe à 0,09 \$ le kWh

^a Facteur de conversion approximatif: 1 baril = 6 GJ

Source: IPCC, 1992: *Changements climatiques 1992: Supplément au Rapport d'évaluation du GIEC*. Section A3, préparée par le Groupe de travail I du GIEC [J.T. Houghton, B.A. Callander et S.K. Varney (éd.)] et l'OMM/PNU. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 200 p.

difficile sinon impossible d'inverser rapidement les conséquences écologiques des changements climatiques en raison des échelles de temps qu'implique le système climatique (voir l'encadré 2). Les décisions qui seront prises durant les prochaines années risquent de limiter les futures options politiques du fait que de fortes émissions à court terme entraîneront l'exigence de réductions plus importantes à l'avenir pour pouvoir atteindre un seuil donné de concentration. Une temporisation pourrait conduire à une réduction du coût global des mesures d'atténuation, grâce à d'éventuels progrès techniques, mais elle pourrait aussi conduire à l'accélération et éventuellement à l'aggravation des changements climatiques, donc à une augmentation des frais d'adaptation et du coût des dommages.

Les décideurs vont devoir déterminer l'ampleur des mesures de précaution qu'ils veulent prendre en atténuant les émissions de gaz à effet de serre et en accroissant par des processus d'adaptation la résistance des écosystèmes vulnérables. Les incertitudes existantes ne signifient pas qu'une nation ou la communauté des nations ne puisse pas mieux s'armer pour faire face à la vaste gamme des changements climatiques possibles ou pour se protéger contre des événements futurs potentiellement coûteux. En retar-

Encadré 2. Echelle de temps des processus influant sur le système climatique.

- Renouvellement d'installations industrielles et énergétiques productrices de gaz à effet de serre: de plusieurs années à plusieurs décennies (sauf en cas de réforme anticipée)
- Stabilisation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre à grande durée de vie, après stabilisation du niveau d'émission: de plusieurs décennies à plusieurs millénaires
- Rétablissement de l'équilibre du système climatique après stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre: de plusieurs décennies à plusieurs siècles
- Rétablissement de l'équilibre du niveau de la mer après stabilisation du climat: plusieurs siècles
- Reconstitution/remise en état des écosystèmes endommagés ou perturbés: de plusieurs décennies à plusieurs siècles (l'extinction des espèces étant irréversible, il se peut que dans certains cas il soit impossible de reconstituer ou de rétablir certains écosystèmes)

nant de telles mesures, les différents pays ou le monde risquent de se trouver insuffisamment préparés en cas d'évolution défavorable et d'accroître la probabilité de conséquences irréversibles ou très coûteuses. Les mesures d'adaptation ou d'atténuation qui peuvent se justifier pour d'autres raisons aujourd'hui (lutte contre la pollution de l'air et de l'eau, par exemple) et qui donnent à la société une souplesse et une capacité de récupération plus grandes face aux incidences néfastes de l'évolution du climat apparaissent comme particulièrement souhaitables.

3. Vulnérabilité face à l'évolution du climat

L'article 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques souligne l'importance des écosystèmes naturels, de la production alimentaire et d'un développement économique durable. Le présent document porte sur la *sensibilité*, l'*adaptabilité* et la *vulnérabilité* (voir encadré 3) des écosystèmes et des systèmes socio-économiques - y compris l'hydrologie, la gestion des ressources en eau, les infrastructures humaines et la santé- face à l'évolution du climat.

Encadré 3.

Sensibilité, adaptabilité et vulnérabilité.

- La sensibilité est la capacité d'un système à réagir à une transformation des conditions climatiques (par exemple: degré de modification de la composition, de la structure et du fonctionnement d'un écosystème, et notamment de sa productivité primaire, par rapport à une variation de température ou de précipitation donnée).
- L'adaptabilité est la capacité d'un système à ajuster ses mécanismes, ses processus et sa structure à des changements climatiques hypothétiques ou réels. L'adaptation peut être spontanée ou planifiée; elle peut se produire en réponse à ou en prévision d'une évolution des conditions.
- La vulnérabilité définit la mesure dans laquelle un système peut être dégradé ou endommagé par l'évolution du climat. Elle dépend non seulement de la sensibilité, mais aussi de l'adaptabilité du système à de nouvelles conditions climatiques.
- L'ampleur et la rapidité des changements climatiques influencent l'une et l'autre, de manière importante, la sensibilité, l'adaptabilité et la vulnérabilité d'un système.

L'évolution du climat imputable aux activités humaines ajoute une nouvelle contrainte importante. Les changements climatiques d'origine humaine représentent une contrainte supplémentaire notable, surtout pour les nombreux écosystèmes et systèmes socio-économiques déjà touchés par la pollution, une exploitation croissante des ressources et des pratiques de gestion non durable. Les systèmes les plus vulnérables sont les plus sensibles à l'évolution du climat et les moins adaptables.

La plupart des systèmes sont sensibles à l'évolution du climat. Les écosystèmes naturels, les systèmes socio-économiques et la santé humaine sont sensibles à l'ampleur et à la rapidité des changements climatiques.

Les incidences sont difficiles à quantifier et les études réalisées jusqu'à présent ont une portée limitée. Bien que nos connaissances se soient sensiblement améliorées depuis une dizaine d'années et qu'il soit désormais possible de procéder à des évaluations qualitatives, toute projection quantitative quant aux incidences de l'évolution du climat sur un système donné et à un endroit donné est difficile à établir. Cela s'explique par l'incertitude des prévisions à l'échelle régionale, par notre connaissance actuellement limitée des nombreux processus en jeu et par la multiplicité des contraintes climatiques et non climatiques, dont les interactions ne sont pas toujours linéaires ou additives. La plupart des études d'impact portent sur les réactions de certains systèmes à l'évolution du climat suite à un doublement arbitraire de la concentration équivalente de CO₂ dans l'atmosphère. Très peu d'études ont envisagé les réactions dynamiques des systèmes à une augmentation continue de la concentration de gaz à effet de serre. Encore plus rares sont les études où l'on a considéré soit les conséquences d'une augmentation des concentrations allant au-delà d'un doublement de l'équivalent CO₂, soit les implications de contraintes multiples.

Le succès de l'adaptation dépend des progrès techniques, des dispositions institutionnelles, du financement disponible et de l'échange d'informations. De façon générale, les progrès techniques ont élargi les possibilités d'adaptation de systèmes gérés tels que l'agriculture et l'approvisionnement en eau.

Cependant, l'accès de nombreuses régions du monde à ces techniques et aux informations appropriées est actuellement limité. L'efficacité et la rentabilité des stratégies d'adaptation dépend de la disponibilité de ressources financières, des transferts de technologies et des pratiques culturelles, pédagogiques, administratives, institutionnelles, juridiques et réglementaires sur le plan national et international. La prise en compte des problèmes posés par l'évolution du climat dans les décisions concernant l'utilisation des ressources et le développement, et dans la planification habituelle d'investissements d'infrastructure, permettrait de faciliter l'adaptation.

La vulnérabilité des systèmes croît quand leur capacité d'adaptation décroît. La vulnérabilité de la santé humaine, des systèmes socio-économiques et, dans une moindre mesure, des écosystèmes, dépend des conditions économiques et de l'infrastructure institutionnelle. Cela implique que la vulnérabilité aux changements climatiques est en général plus élevée dans les pays en voie de développement où les conditions économiques et institutionnelles sont moins favorables. Les populations qui vivent dans des régions arides ou semi-arides, des zones basses côtières, des régions sèches ou inondables ou sur de petites îles sont particulièrement exposées aux risques liés l'évolution du climat. Certaines régions sont devenues plus vulnérables à des événements tels que tempêtes, inondations, sécheresses, à cause de l'accroissement de population dans diverses zones sensibles telles que les bassins fluviaux ou les plaines côtières. Les activités humaines, qui entraînent le morcellement de nombreux milieux, ont augmenté la vulnérabilité d'écosystèmes peu ou pas gérés par l'homme. Le morcellement limite le potentiel naturel d'adaptation et l'efficacité éventuelle de mesures visant à faciliter l'adaptation de ces systèmes, comme l'aménagement de couloirs de migration. Les effets à court terme du changement climatique seront dus aux variations de l'intensité et de la distribution saisonnière et géographique d'accidents climatiques courants, comme les tempêtes, les inondations et les sécheresses. Dans la plupart de ces exemples, la vulnérabilité peut être réduite grâce à un accroissement de la capacité d'adaptation.

La détection sera difficile et des changements imprévus ne sont pas à exclure. Pendant plusieurs

dizaines d'années, il sera très difficile de déterminer avec certitude dans quelle mesure d'éventuels changements dans des écosystèmes et des systèmes socio-économiques sont imputables à l'évolution du climat, en raison de la complexité de ces systèmes, de leurs nombreuses interactions non linéaires et de leur sensibilité à une multitude de facteurs climatiques et non climatiques. La définition d'un niveau de référence correspondant aux conditions prévues en l'absence de tout changement climatique est essentielle, car c'est par rapport à ce niveau que la totalité des impacts projetés seront mesurés. Plus l'évolution probable du climat dépassera les limites de nos connaissances empiriques (c'est-à-dire l'analyse des impacts des changements climatiques du passé), plus de nombreuses surprises et des bouleversements inattendus deviendront possibles.

Une intensification de la recherche et l'observation sont essentiels. Un plus large appui accordé à la recherche et à l'observation, et notamment au travail en collaboration des institutions nationales, internationales et multilatérales, est essentiel pour améliorer sensiblement les prévisions de l'évolution climatique à l'échelle régionale, comprendre la réaction des systèmes environnementaux et socio-économiques au changement climatique et à d'autres facteurs de stress, ainsi que pour mieux évaluer l'efficacité et la rentabilité des stratégies d'adaptation possibles.

3.1 Ecosystèmes terrestres et aquatiques

Les écosystèmes représentent la totalité du réservoir terrestre de diversité génétique et de diversité entre espèces et sont à l'origine d'un grand nombre de biens et de services essentiels aux individus et à la société. Ces biens et ces services comprennent: i) la production de la nourriture, des fibres, des médicaments et de l'énergie, ii) la transformation et le stockage du carbone et d'autres éléments nutritifs, iii) l'assimilation des déchets, l'épuration de l'eau, la régularisation du ruissellement et la lutte contre les inondations, la dégradation des sols et l'érosion des plages, et iv) des possibilités d'activités récréatives et touristiques. Ces écosystèmes et les fonctions qu'ils assurent sont sensibles à la rapidité et à l'amplitude de l'évolution du climat. On voit sur la Figure SPM-1 qu'il est possible d'établir une corrélation entre la moyenne

annuelle des températures et des précipitations, et la répartition des principaux biomes de la planète.

La composition et la répartition géographique de nombreux écosystèmes vont se modifier en raison de la sensibilité des espèces individuelles à l'évolution du climat. La diversité biologique et les biens et services que les écosystèmes offrent à la société vont sans doute diminuer. Il faudra sans doute plusieurs centaines d'années après la stabilisation du climat pour que certains écosystèmes parviennent à un nouvel équilibre.

Forêts. D'après les résultats des modèles, une augmentation de la température moyenne globale de seulement 1 deg.C suffit à provoquer des changements climatiques régionaux susceptibles d'affecter en de

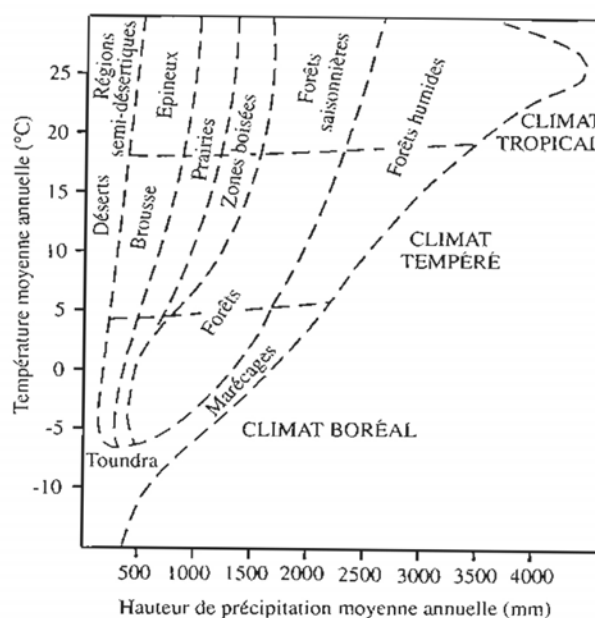


Figure 1. Cette figure illustre comment la moyenne annuelle des températures et des précipitations peut être corrélée avec la répartition des principaux biomes de la planète. Malgré l'importance de ces moyennes annuelles pour la distribution des biomes, il est à noter que cette répartition dépend aussi largement de facteurs saisonniers tels que la durée de la saison sèche ou la température minimale absolue, de certaines propriétés du sol telles que la capacité de rétention d'eau, de l'utilisation traditionnelle des sols - agriculture ou pâturage, par exemple - et de facteurs perturbateurs tels que la fréquence des incendies.

nombreux endroits la capacité de croissance et de régénération des forêts. Dans divers cas, les fonctions et la composition des forêts en seraient sensiblement altérées. En raison de l'évolution possible des températures et de la quantité d'eau disponible que pourrait entraîner un doublement de la concentration équivalente de dioxyde de carbone, une proportion importante des zones actuellement boisées (un tiers en moyenne globale - de 15% à 65% selon les régions) subiraient de vastes mutations dans les types de végétation; celles-ci seraient maximales dans les latitudes élevées et minimales dans les latitudes tropicales. On s'attend à ce que le climat évolue de manière rapide par rapport au rythme de croissance, de reproduction et de régénération des forêts. Dans les latitudes moyennes, un réchauffement de 1 à 3,5 deg.C en moyenne globale au cours des cent prochaines années pourrait conduire à une migration des isothermes actuels vers les pôles d'environ 150 à 550 km ou à leur migration en altitude de 150 à 550 m ; aux basses latitudes, les températures atteindront généralement des valeurs supérieures aux valeurs présentes. A titre de comparaison, on estime que la migration des espèces d'arbre s'est produite dans le passé à une vitesse de 4 à 200 km par siècle selon les espèces et l'ampleur du changement climatique. Ainsi, les espèces composant les forêts changeront probablement ; certains types de forêts pourront entièrement disparaître, tandis que de nouvelles espèces s'assembleront pour donner lieu à de nouveaux écosystèmes (la figure SPM-2 indique la répartition possible des principaux biomes du monde dans les conditions actuelles et pour le cas d'un doublement de la concentration équivalente de CO₂). Bien que la productivité primaire nette puisse augmenter, il pourrait ne pas en aller de même pour la biomasse forestière, en raison de la recrudescence d'invasions de parasites et d'organismes pathogènes, de l'extension de leur aire de répartition et de la fréquence et de l'intensité accrues des incendies. De grandes quantités de carbone pourraient être rejetées dans l'atmosphère lors de la transition entre deux types de peuplement forestier, car en période de mortalité forestière élevée, le taux de déperdition du carbone est supérieur à son taux de fixation lors de la phase de croissance vers la maturité.

Prairies et pâturages. Dans les zones de prairies tropicales, l'élévation moyenne des températures ne devrait pas modifier de manière significative la

productivité et la composition des espèces, qui seraient par contre affectées par des variations de la quantité et de la répartition saisonnière des pluies et une augmentation de l'évapotranspiration. Une plus grande concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère pourrait conduire à un relèvement du rapport carbone-azote dans le fourrage, ce qui en réduirait la valeur nutritive. Les variations de température et de précipitation dans les prairies tempérées pourraient changer les périodes de croissance et déplacer les limites actuelles entre prairies, forêts et brousses.

Déserts et désertification. Les déserts deviendront vraisemblablement plus extrêmes, en ceci qu'à quelques exceptions près, ces régions deviendront, d'après les modèles, plus chaudes mais pas plus humides. Un réchauffement pourrait mettre en danger des organismes qui sont déjà proches des limites de tolérance thermique. Les incidences sur le bilan hydrique, l'hydrologie et la végétation sont incertaines. Selon la définition de la Convention internationale sur la lutte contre la désertification, on entend par désertification une dégradation des sols dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, due à divers facteurs, entre autres les variations climatiques et les activités humaines. La désertification risque d'autant plus de devenir irréversible que l'environnement deviendra plus sec et que les sols seront plus dégradés par l'érosion et le tassement. L'adaptation à la sécheresse et à la désertification pourrait reposer sur la création de systèmes de production diversifiés.

Cryosphère. Selon le résultat des modèles, entre un tiers et la moitié de la masse des glaciers alpins actuels pourrait disparaître au cours des cent prochaines années. La réduction de la superficie des glaciers et de l'épaisseur de la couverture neigeuse pourrait se répercuter sur la répartition saisonnière des débits fluviaux et de l'alimentation en eau des centrales hydroélectriques et de l'agriculture. Les bouleversements hydrologiques prévus et la réduction de la superficie et de l'épaisseur du pergélisol pourraient entraîner une détérioration à grande échelle des infrastructures, un rejet plus important de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et des changements dans les processus qui contribuent aux émissions de méthane dans l'atmosphère. La réduction de la super-

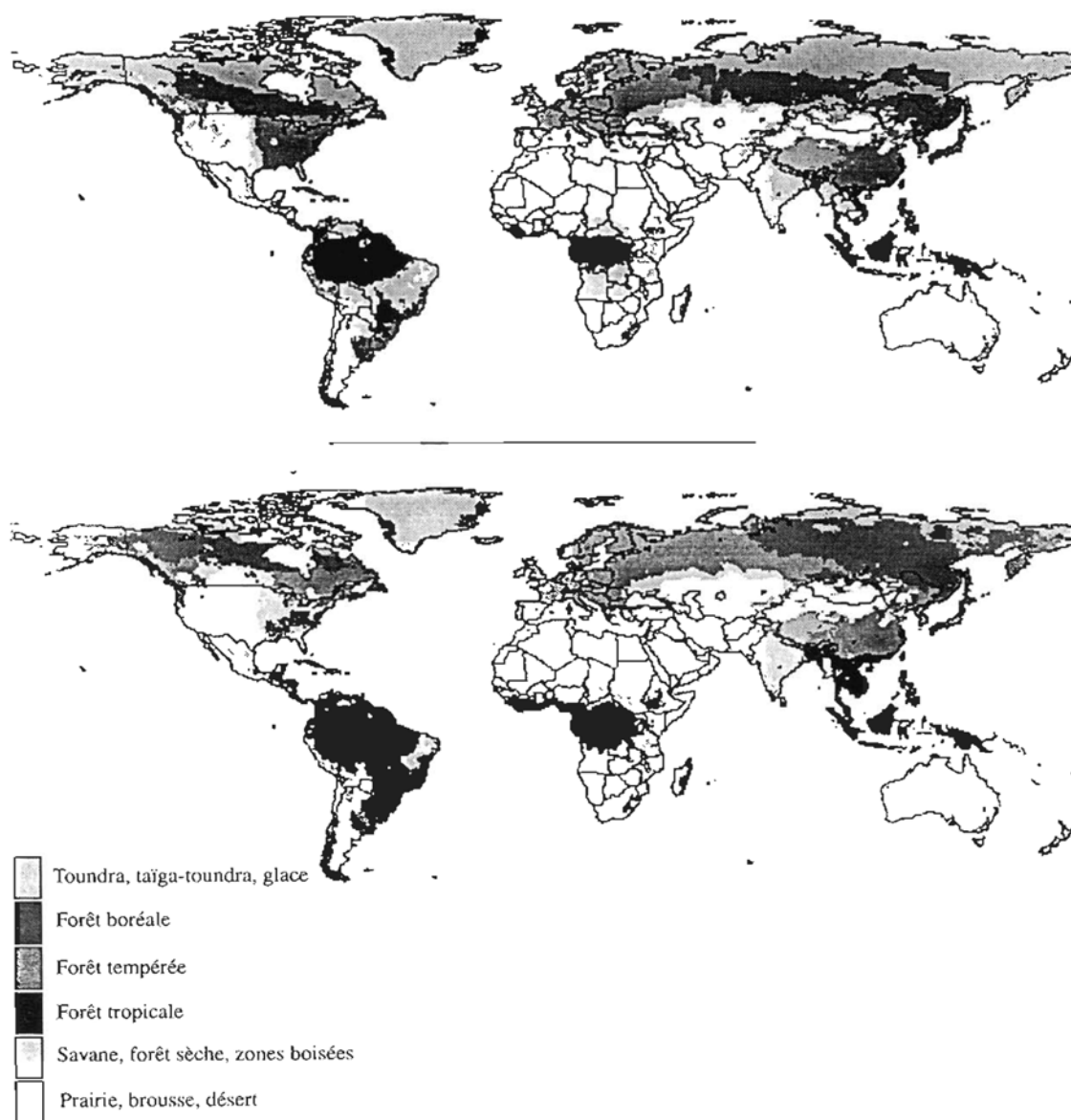


Figure 2. En haut : répartition possible des principaux biomes du monde dans les conditions climatiques actuelles, obtenue par simulation à partir du modèle MAPSS (cartographie du système atmosphère-végétation-sol). Par "répartition possible", on entend la répartition de la végétation naturelle pouvant être supportée sur chaque site, étant donné la quantité des précipitations, les températures, l'humidité et la vitesse du vent en moyenne mensuelle. En bas : répartition prévue des principaux biomes du monde, obtenue en simulant les incidences d'un doublement de la concentration équivalente de CO₂ - et notamment les effets physiologiques directs du CO₂ sur la végétation - à partir du modèle de circulation générale du GFDL. Les deux schémas sont adaptés de Nielsen, R.P. et D. Marks, 1994: A global perspective of regional vegetation and hydrologic sensitivities from climatic change. *Journal of Vegetation Science*, **5**, 715-730.

fie et de l'épaisseur des glaces de mer permettrait de prolonger la durée saisonnière de navigation dans les zones côtières et sur les cours d'eau actuellement bloqués par une couverture de glace saisonnière et d'accroître la circulation maritime dans l'Océan Arctique. Pour les 50 à 100 prochaines années, on prévoit peu de changements en ce qui concerne l'étendue des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique.

Régions de montagne. La diminution prévue de l'étendue des glaciers de montagne, du pergélisol et de l'enneigement imputable au réchauffement climatique risque d'affecter les systèmes hydrologiques, la stabilité des sols et les systèmes socio-économiques des régions de montagne. Il est prévu que la répartition de la végétation selon l'altitude se déplace vers le haut. Certaines espèces ayant une aire de répartition climatique limitée aux sommets des montagnes risquent l'extinction en raison de la disparition de leur habitat ou de la réduction de leur potentiel de migration. Les populations autochtones dans de nombreux pays en voie de développement pourront être privées des ressources que leur offre la montagne, telles que la nourriture et l'énergie. L'industrie des loisirs, d'une importance économique de plus en plus grande pour de nombreuses régions, risque également d'être affecté.

Lacs, cours d'eau et zones humides. Les écosystèmes aquatiques seront également touchés par l'évolution du climat : variations de la température de l'eau, des régimes d'écoulement et du niveau des eaux. En ce qui concerne les lacs et les cours d'eau, le réchauffement climatique aurait les répercussions biologiques les plus marquées aux latitudes élevées, où la productivité biologique augmenterait, ainsi qu'à la limite de basse latitude entre les zones de répartition des espèces d'eau froide et d'eau fraîche, où le nombre d'extinctions serait maximal. Le réchauffement des lacs vastes et profonds de la zone tempérée en accroîtrait la productivité. En revanche, le réchauffement de certains lacs et cours d'eau peu profonds pourrait accroître le risque d'anoxie. L'augmentation de la variabilité du débit hydrologique, et notamment de la fréquence et de la durée des grandes crues et des grandes sécheresses, pourrait avoir tendance à réduire la qualité d'eau ainsi que la productivité biologique et les habitats des cours d'eau. C'est dans les

lacs et les cours d'eau des drainages asséchés par évaporation et dans les bassins ayant une aire de drainage réduite que les baisses de niveau seront les plus importantes. La répartition géographique des zones humides se modifiera vraisemblablement en raison de l'évolution des températures et des précipitations. Les modifications climatiques vont se répercuter sur la quantité de gaz à effet de serre libérée par les zones humides non soumises aux marées, mais les incidences précises selon les sites sont incertaines.

Ecosystèmes côtiers. On prévoit des réactions très diverses des écosystèmes côtiers, dont l'importance économique et écologique est considérable, face à la modification du climat et du niveau de la mer. Les changements climatiques, l'élévation du niveau de la mer et l'évolution des tempêtes et des raz de marée pourraient se traduire par l'érosion des plages et des habitats qui leur sont associés, par une augmentation de la salinité des estuaires et des aquifères d'eau douce, par une modification de l'amplitude des marées dans les cours d'eau et les baies, par une altération du transport de sédiments et d'éléments nutritifs, par la pollution chimique et microbiologique, et des inondations accrues sur les côtes. Certains écosystèmes côtiers sont particulièrement menacés, par exemple les marais d'eau salée, les mangroves, les marécages côtiers, les récifs et atolls coralliens et les deltas fluviaux. L'altération de ces écosystèmes aurait de graves conséquences pour le tourisme, l'alimentation en eau douce, la pêche et la biodiversité. Ces conséquences s'ajouteraient aux modifications déjà constatées dans les eaux côtières et intérieures en raison de la pollution, d'altérations physiques et des matières déversées par l'homme.

Océans. L'évolution du climat va entraîner des variations du niveau de la mer, qui va s'élever en moyenne. Elle pourrait aussi conduire à un bouleversement de la circulation océanique, à un brassage vertical, à l'altération du régime des vagues et à une réduction de l'étendue des glaces de mer. Une telle situation peut se répercuter sur la disponibilité d'éléments nutritifs, sur la productivité biologique, sur la structure et les fonctions des écosystèmes marins et sur la capacité de stockage de chaleur et de carbone, avec d'importantes rétroactions sur le système climatique. Ces changements auraient des impacts sur les régions

côtières, la pêche, le tourisme, les loisirs, les transports, les installations en mer et les communications. Selon les données paléoclimatiques et les modélisations, une brusque évolution du climat peut se produire si la fonte des glaces de mer et des calottes glaciaires provoque un afflux d'eau douce, décroissant sensiblement la circulation thermohaline océanique.

3.2 Hydrologie et gestion des ressources en eau

L'évolution du climat va conduire à une intensification du cycle hydrologique mondial et pourra avoir d'importantes répercussions sur les ressources régionales en eau. Une modification du volume et de la répartition des eaux va affecter l'approvisionnement en eau souterraine et de surface utilisée à des fins ménagères et industrielles, pour l'irrigation, la production d'énergie hydraulique, la navigation, les écosystèmes fluviaux et les loisirs aquatiques.

Les variations de la quantité totale, de la fréquence et de l'intensité des précipitations se répercutent directement sur l'ampleur et la répartition dans le temps du ruissellement, ainsi que sur l'importance des inondations et des sécheresses. Cependant, on connaît mal actuellement les effets spécifiques à l'échelle régionale. Des variations relativement faibles de température et de précipitation, associées à des effets non linéaires dans l'évapotranspiration et l'humidité du sol, peuvent entraîner une modification assez sensible du ruissellement, particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Dans les latitudes élevées, les ruissellements pourraient s'accroître en raison d'une augmentation des précipitations, tandis que dans les basses latitudes, ils pourraient diminuer en raison des effets combinés d'une augmentation de l'évapotranspiration et d'une réduction des précipitations. L'intensification des pluies aurait tendance à accroître le ruissellement et le risque d'inondations, bien que cette tendance ne dépende pas uniquement de l'évolution de la pluviosité, mais aussi des caractéristiques physiques et biologiques des bassins d'alimentation. Un réchauffement du climat entraînerait une diminution de la proportion des précipitations sous forme de neige, d'où une réduction du ruissellement de printemps et une augmentation du

ruissellement d'hiver.

La quantité et la qualité de l'alimentation en eau posent déjà de sérieux problèmes dans de nombreuses régions, et notamment dans certaines zones côtières ou deltaïques, ainsi que sur certaines petites îles, ce qui les rend particulièrement vulnérables à toute réduction supplémentaire de la quantité d'eau disponible localement. Cette quantité est actuellement inférieure à 1000 m³ par personne et par an dans certains pays comme le Koweït, la Jordanie, Israël, le Rwanda, la Somalie, l'Algérie et le Kenya, ou devrait passer au-dessous de cette limite d'ici 20 à 30 ans (par exemple en Libye, en Egypte, en Afrique du Sud, en Iran et en Ethiopie). En outre, certains pays situés dans des points sensibles du globe dépendent en grande partie de l'étranger pour leur approvisionnement en eau (par exemple le Cambodge, la Syrie, le Soudan, l'Egypte et l'Irak).

Les incidences des changements climatiques vont dépendre de l'état initial des réseaux d'alimentation en eau et de la capacité des responsables des ressources en eau de répondre non seulement à ces changements, mais aussi à la croissance démographique et à l'évolution de la demande, des techniques et des conditions économiques, sociales et législatives. Dans certains cas - notamment dans les pays les plus riches disposant de systèmes de gestion intégrée des eaux - l'amélioration de la gestion, qui est possible moyennant un coût minime, est susceptible de protéger les usagers des conséquences de ces changements. Dans de nombreux autres cas, cependant, le prix économique, social et écologique à payer pourrait être très élevé, surtout dans des régions où l'eau est rare et où la concurrence entre utilisateurs est considérable. Les experts ont des opinions divergentes sur la question de savoir si les réseaux d'alimentation en eau vont évoluer suffisamment à l'avenir pour compenser les incidences négatives des changements climatiques et l'augmentation probable de la demande.

Les solutions permettant de faire face aux incidences possibles de l'évolution du climat et aux incertitudes croissantes quant à l'offre et à la demande d'eau douce à l'avenir comprennent une gestion plus efficace des ressources et de l'infrastructure actuelles, des dispositions institutionnelles visant à limiter la future demande et à promouvoir la conservation des res-

sources en eau, l'amélioration des mécanismes de prévision et de suivi des inondations et des sécheresses, la remise en état des bassins versants, surtout dans les régions tropicales, et la construction de nouveaux ouvrages de génie civil permettant de capter et de stocker l'excédent de débit dû à des changements dans le régime de la fonte des neiges et des tempêtes.

3.3 Produits alimentaires et fibres

Agriculture. Les variations de la production et de la productivité agricoles imputables à l'évolution du climat vont être extrêmement variables selon les régions et les endroits, ce qui bouleversera les modes de production. Il est prévu que la productivité augmente dans certaines régions et diminue dans d'autres, surtout sous les latitudes tropicales et subtropicales (voir le Tableau SPM-2]. Cependant, les études effectuées jusqu'à présent à partir des modèles de circulation générale indiquent que dans l'ensemble, la production agricole mondiale pourrait se maintenir par rapport au niveau actuel dans le cas d'un doublement des concentrations équivalentes de CO₂, mais que les effets régionaux de cette évolution seraient très variables. Cette projection tient compte du rôle fertilisant du CO₂ mais non des incidences de parasites et des conséquences possibles de la variabilité climatique.

L'examen de la production agricole mondiale ne rend pas compte des conséquences que peuvent avoir des différences sensibles à l'échelle locale ou régionale, même dans les latitudes moyennes. Les risques de disette alimentaire et de famine peuvent s'accroître à certains endroits. C'est parmi les populations les plus pauvres du monde - notamment celles des régions tropicales et subtropicales qui, dans les zones arides et semi-arides, dépendent de systèmes d'exploitation isolés - que le problème de la faim risque de s'intensifier le plus. Nombre des populations en danger se trouvent en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud, de l'Est et du Sud-Est, dans les régions tropicales d'Amérique latine et sur certaines îles du Pacifique.

L'adaptation, consistant par exemple à modifier les cultures ou les variétés cultivées, à améliorer la gestion des eaux et les techniques d'irrigation et à modifier le calendrier des plantations et le mode de

culture, jouera un rôle important pour limiter les effets négatifs de l'évolution du climat et pour bénéficier de ses effets positifs. Les possibilités d'adaptation dépendent de la capacité à financer de telles mesures, notamment dans les pays en voie de développement, de l'accès au savoir-faire et à la technologie, de la vitesse d'évolution du climat et de contraintes biophysiques telles que la disponibilité en eau, les caractéristiques des sols et les conditions phytogénétiques. Le coût marginal des stratégies d'adaptation pourrait être très lourd pour les pays en voie de développement. En revanche, certaines de ces stratégies pourraient se traduire par des économies pour certains pays. Il existe de grandes incertitudes quant à la capacité de diverses régions de s'adapter avec succès à l'évolution prévue du climat.

L'élevage pourrait être touché par les variations du prix des céréales et par la baisse de productivité des prairies et des pâturages. Les analyses indiquent en général que l'élevage intensif est davantage susceptible de s'adapter que l'agriculture. Cela ne sera peut-être pas le cas de l'élevage extensif, qui est lent à adopter de nouvelles techniques et où les changements technologiques sont considérés comme risqués.

Industrie forestière. Au cours du XXI^e siècle, l'approvisionnement mondial en bois risque d'être insuffisant pour faire face à la demande envisagée, à cause de facteurs tant climatiques que non climatiques. Les changements climatiques prévus vont sans doute entraîner une mortalité des arbres, irrégulière et à grande échelle dans les forêts boréales. Dans un premier temps, ces pertes pourraient se traduire par un accroissement de la production, grâce aux coupes de récupération, mais elles risquent de réduire fortement le stock existant et la disponibilité à long terme de produits forestiers. Le déroulement exact dans le temps et l'ampleur du phénomène sont incertains. On s'attend à ce que les incidences de l'évolution du climat et de l'exploitation du sol sur la production des forêts tempérées soient relativement modestes. Dans les régions tropicales, en revanche, la disponibilité de produits forestiers va, d'après les modèles, se réduire de moitié environ, pour des raisons non climatiques, liées aux activités humaines.

Pêche. Les effets de l'évolution du climat interagissent avec ceux d'une surexploitation généralisée des

Tableau 2. Résultats d'analyses portant sur des cultures choisies, réalisées à partir d'un modèle de circulation générale pour divers scénarios supposant un doublement de la concentration équivalente de CO₂.

Région	Culture	Incidence sur le rendement (%)	Observations
Amérique latine	Maïs	De -61 à une valeur positive	Données en provenance d'Argentine, du Brésil, du Chili et du Mexique ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec et sans effet du CO ₂
	Blé	De -50 à -5	Données en provenance d'Argentine, d'Uruguay et du Brésil ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec et sans effet du CO ₂
	Soja	De -10 à +40	Données en provenance du Brésil ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec l'effet du CO ₂
Ex-Union soviétique	Blé	De -19 à +41	Fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec l'effet du CO ₂
	Céréales	De -14 à +13	
Europe	Maïs	De -30 à une valeur positive	Données en provenance de France, d'Espagne et d'Europe du Nord ; avec adaptation et effet du CO ₂ ; hypothèse d'une saison plus longue, d'une baisse d'efficacité de l'arrosage et d'un décalage vers le nord
	Blé	Accroissement ou diminution	Données en provenance de France, du Royaume-Uni et d'Europe du Nord ; avec adaptation et effet du CO ₂ ; hypothèse d'une saison plus longue, d'un décalage vers le nord, d'une recrudescence des parasites et d'un risque réduit de mauvaises récoltes
	Légumes	Accroissement	Données en provenance du Royaume-Uni et d'Europe du Nord ; hypothèse d'une recrudescence des parasites et d'un risque réduit de mauvaises récoltes
Amérique du Nord	Maïs	De -55 à +62	Données en provenance des Etats-Unis et du Canada ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios et des sites, avec et sans adaptation, avec et sans effet du CO ₂
	Blé	De -100 à +234	
	Soja	De -96 à +58	
Afrique	Maïs	De -65 à +6	Données en provenance d'Egypte, du Kenya, d'Afrique du Sud et du Zimbabwe ; fourchette couvrant l'ensemble des analyses et des scénarios climatiques, avec l'effet du CO ₂
	Millet Biomasse	De -79 à -63 Diminution	Données en provenance du Sénégal ; chute de 11 à 38% de la capacité biotique Données en provenance d'Afrique du Sud ; décalage des zones agro-écologiques
Asie du Sud	Riz	De -22 à +28	Données en provenance du Bangladesh, d'Inde, des Philippines, de Thaïlande, d'Indonésie, de Malaisie et du Myanmar ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, avec l'effet du CO ₂ ; prise en compte des mesures d'adaptation dans certaines analyses
	Maïs	De -65 à -10	
	Blé	De -61 à +67	
Chine	Riz	De -78 à +28	Données valables pour les rizières irriguées et non irriguées ; fourchette couvrant l'ensemble des sites et des scénarios ; possibilités d'adaptation grâce aux variations génétiques
Autres pays d'Asie et du Pacifique	Riz	De -45 à +30	Données en provenance du Japon et de Corée du Sud ; fourchette couvrant l'ensemble des scénarios, généralement positive dans le nord du Japon et négative dans le sud
	Fourrage	De -1 à +35	Données en provenance d'Australie et de Nouvelle-Zélande ; variations selon les régions
	Blé	De -41 à +65	Données en provenance d'Australie et du Japon ; variations sensibles selon les variétés

Note : Pour la plupart des régions, les analyses portent sur une ou deux cultures principales. Ces analyses démontrent clairement la variabilité des incidences sur le rendement selon les pays, les scénarios, les techniques d'analyse et les cultures, ce qui rend difficile une généralisation des résultats à des régions entières ou à divers scénarios climatiques.

stocks, entraînant une réduction des zones de reproduction, et avec ceux d'une pollution côtière à grande échelle. Globalement la production des pêcheries maritimes devrait rester à peu près stable. Dans les latitudes élevées, la production de la pêche en eau douce et de l'aquaculture devrait s'accroître si l'on admet que la variabilité naturelle du climat et que la structure et la force des courants océaniques resteront à peu près les mêmes. Les principales répercussions seront ressenties à l'échelle nationale et locale en raison du brassage des espèces et du déplacement des centres de production. Les effets bénéfiques de l'évolution du climat - tels qu'allongement des saisons de croissance, réduction de la mortalité naturelle hivernale et accélération du rythme de croissance dans les latitudes élevées - risquent d'être annulés par des effets négatifs tels que le bouleversement des modes de reproduction, des voies de migration et des rapports entre écosystèmes.

3.4 Infrastructure humaine

L'évolution du climat et l'élévation du niveau de la mer risquent d'avoir des incidences négatives sur l'infrastructure énergétique, industrielle et de transport, les habitats humains, le secteur de l'assurance, le tourisme et les systèmes et valeurs culturelles.

De façon générale, la sensibilité aux changements climatiques des secteurs de l'énergie, de l'industrie et des transports est relativement faible par rapport à celle de l'agriculture et des écosystèmes naturels. La capacité d'adaptation de ces secteurs, par la gestion et le remplacement à terme du parc énergétique et industriel, devrait être élevée. Cependant, des événements inattendus et un accroissement de la fréquence ou de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes pourraient affecter l'infrastructure et les activités de ces secteurs. Les domaines et les activités les plus sensibles à l'évolution du climat comprennent l'industrie agro-alimentaire, la demande en énergie, la production de formes d'énergie renouvelables telles que l'énergie hydroélectrique et l'énergie de la biomasse, le bâtiment et les travaux publics, certaines activités de transport, les dispositifs actuels d'amortissement des crues et l'infrastructure des transports à de nombreux

endroits, parmi lesquels les zones côtières exposées et les régions de pergélisol.

De toute évidence, l'évolution du climat va accroître la vulnérabilité de certaines populations côtières face aux inondations et au recul des terres par érosion. On estime actuellement à 46 millions par an le nombre de personnes menacées d'inondations dues à des tempêtes. On a obtenu ce chiffre en multipliant le nombre total de personnes vivant actuellement dans des zones exposées aux raz-de-marée par la probabilité annuelle d'inondation de ces zones, compte tenu du niveau actuel de protection et de la densité de population. Faute de mesures d'adaptation, une élévation de 50 cm du niveau de la mer porterait ce nombre à environ 92 millions, tandis qu'une élévation d'un mètre le porterait à 118 millions. Ces chiffres augmentent sensiblement si l'on tient compte de la croissance démographique prévue. Certains petits états insulaires et d'autres pays seront plus vulnérables en raison de la relative faiblesse des dispositifs actuels de protection maritime et côtière. Les pays ayant une plus forte densité de population seront aussi plus vulnérables. L'élévation du niveau de la mer pourrait y obliger des populations entières à des migrations interne ou vers d'autres pays.

Diverses études ont évalué la sensibilité à une élévation d'un mètre du niveau de la mer. Une telle élévation correspond à la limite supérieure des estimations établies par le Groupe de travail I du GIEC pour l'an 2100. Cependant, il est à noter que selon les modèles, le niveau de la mer devrait continuer à monter au-delà du XXI^e siècle. Les études fondées sur une élévation d'un mètre indiquent que les petites îles et les deltas seront particulièrement exposés. Compte tenu de l'état actuel des dispositifs de protection, le recul des terres prévu est par exemple de 0,05 % pour l'Uruguay, de 1,0 % pour l'Egypte, de 6,0 % pour les Pays-Bas, de 17,5 % pour le Bangladesh et d'environ 80 % pour l'île Majuro, dans l'archipel des Iles Marshall. Un grand nombre de personnes seront touchées : 70 millions en Chine et autant au Bangladesh, par exemple. De nombreux pays risquent de subir des pertes d'une valeur supérieure à 10 % de leur produit intérieur brut (PIB). Bien que le coût annuel moyen de la protection soit relativement modeste dans de nombreux pays (environ 0,1 % du PIB), il représente plusieurs points de pourcentage du PIB dans de nombreux petits états insulaires. Pour

certains de ces états, le prix de la protection contre les tempêtes est exorbitant, essentiellement à cause de la faiblesse des capitaux susceptibles d'être investis.

Les habitats humains les plus vulnérables se trouvent dans des zones à risque des pays en voie de développement qui ne disposent pas des ressources nécessaires pour faire face aux incidences de l'évolution du climat. Une gestion efficace des zones côtières et une réglementation stricte de l'aménagement du territoire pourraient contribuer à éloigner les populations de secteurs vulnérables tels que zones d'inondation, pentes escarpées ou zones côtières. Cette évolution pourrait avoir une conséquence particulière et potentiellement perturbatrice pour les zones construites: la migration intérieure ou internationale des populations. Des programmes d'aide aux sinistrés permettraient sans doute d'atténuer certaines des répercussions les plus préjudiciables des changements climatiques et de réduire le nombre de réfugiés.

Le secteur de l'assurance est sensible aux phénomènes climatiques extrêmes. Un risque plus élevé de ces événements extrêmes dû à l'évolution du climat pourrait entraîner une augmentation des primes ou la résiliation de la couverture des biens dans certaines zones vulnérables. Les changements de la variabilité du climat et la probabilité de phénomènes extrêmes peuvent être difficiles à détecter ou à prévoir, ce qui gênera les compagnies d'assurance pour apporter aux primes les corrections appropriées. Si de telles difficultés conduisent à l'insolvabilité de ces compagnies, celles-ci risquent de ne plus pouvoir honorer leurs contrats, ce qui, sur le plan économique, pourrait affaiblir d'autres secteurs tels que le secteur bancaire. Le secteur des assurances doit actuellement faire face à une série de tempêtes ayant coûté des milliards de dollars depuis 1987, entraînant des pertes considérables, la réduction des risques assurés et des coûts plus élevés.

Dans ce secteur de l'assurance, certains perçoivent une tendance actuelle à la multiplication et l'aggravation des phénomènes climatiques extrêmes. L'analyse des données météorologiques ne confirme pas cette perception dans une perspective à long terme, bien qu'une variation restant dans les limites de la variabilité naturelle ait pu se produire. L'augmentation des pertes reflète essentiellement le développement des

infrastructures et l'accroissement de leur valeur économique dans les zones à risque, ainsi qu'une éventuelle évolution de l'intensité et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes.

3.5 Santé

L'évolution du climat risque d'avoir des effets nombreux et principalement négatifs pour la santé, et d'être une cause significative de mortalité. Ces effets pourraient être à la fois directs ou indirects (Figure 3), et il est probable qu'à long terme, les effets indirects prédominent.

Les effets directs de l'évolution du climat sur la santé comprennent l'accroissement des décès et des affections (en majorité cardio-respiratoires) imputables à l'augmentation prévue de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur. Le réchauffement des régions froides devrait se traduire par une diminution du taux de mortalité due au froid. Une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes pourrait entraîner davantage de décès, d'affections et de troubles psychologiques, ainsi qu'un risque accru d'exposition à des eaux polluées.

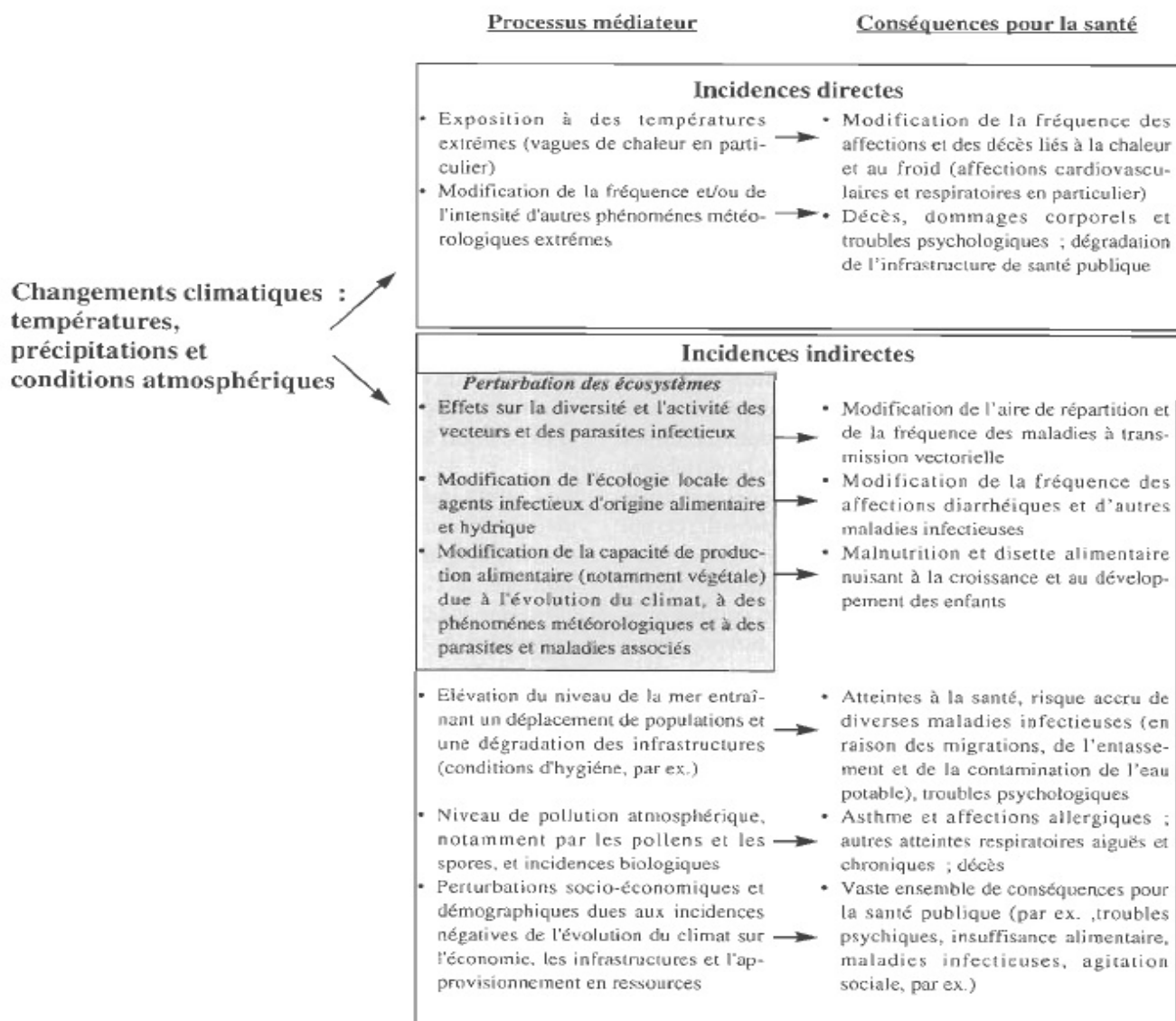
Les effets indirects de l'évolution du climat sont le risque de recrudescence de maladies infectieuses transmises par des vecteurs (comme le paludisme, la dengue, la fièvre jaune et certaines encéphalites d'origine virale) imputable à l'extension de l'aire de répartition et à l'allongement de la période de reproduction des vecteurs. Selon des projections obtenues à partir de modèles (nécessitant l'emploi d'hypothèses simplificatrices), si l'on suppose un réchauffement planétaire correspondant à la limite supérieure des projections du GIEC (de 3 à 5 ° C d'ici 2100), la zone géographique de transmission possible du paludisme passerait de 45 % environ de la population mondiale à environ 60 % d'ici le milieu du XXI^e siècle. Cette évolution pourrait entraîner une recrudescence du paludisme (de l'ordre de 50 à 80 millions de cas supplémentaires par an par rapport à un total mondial de référence évalué à 500 millions de cas), surtout dans les régions tropicales et subtropicales et parmi les populations les moins bien protégées de la zone tempérée. Les maladies infectieuses à transmission non vectorielle telles que la salmonellose, le choléra

et la giardiase pourraient également s'étendre en raison de l'élévation des températures et de la multiplication des inondations.

D'autres conséquences indirectes de l'évolution du climat sont les affections respiratoires et allergiques dues à la prolifération de certains polluants atmosphériques, pollens et spores de moisissures que favorise cette évolution. La pollution de l'air et des conditions météorologiques perturbatrices s'associent pour accroître le risque de morbidité et de mortalité.

Dans certaines régions, l'état nutritionnel pourrait se dégrader en raison des incidences de l'évolution du climat préjudiciables à la productivité de l'industrie alimentaire et de la pêche. La raréfaction de l'eau douce va également se répercuter sur la santé humaine.

Il est difficile de quantifier les incidences prévues de l'évolution du climat sur la santé, car l'importance des problèmes sanitaires imputables à cette évolution



Note : La vulnérabilité des populations face aux incidences des changements climatiques sur la santé dépend de leurs ressources naturelles, techniques et sociales.

Figure 3. Incidences de l'évolution du climat sur la santé.

dépend de nombreux facteurs concomitants et interdépendants qui caractérisent la vulnérabilité de la population concernée : conditions ambiantes et socio-économiques, état nutritionnel et immunitaire, densité de la population et accessibilité à des services de santé de qualité. Les mesures d'adaptation permettant de réduire ces incidences sont les dispositifs de protection (logement, climatisation, épuration des eaux et vaccinations), la préparation à des catastrophes et des soins de santé appropriés.

4. Mesures de réduction des émissions et d'accroissement des puits de gaz à effet de serre

Les activités humaines entraînent directement l'augmentation de la concentration atmosphérique de divers gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone, le méthane, les hydrocarbures halogénés, l'hexafluorure de soufre et l'azote dinitreux. Le dioxyde de carbone est le plus important de ces gaz, suivi du méthane. En outre, les activités humaines se répercutent indirectement sur la teneur atmosphérique en vapeur d'eau et en ozone. Une réduction sensible des émissions nettes de gaz à effet de serre est techniquement et économiquement possible. Un tel résultat peut être atteint grâce à une vaste gamme de techniques et à des mesures visant à accélérer le développement, la diffusion et le transfert de technologies dans tous les secteurs, notamment le secteur énergétique, industriel, des transports, résidentiel/commercial et agricole/forestier. D'ici 2100, l'infrastructure énergétique mondiale aura été remplacée au moins deux fois, ce qui permettra de modifier le système de production d'énergie sans réforme prématurée des investissements. Il faudra également remplacer une part importante des investissements dans les secteurs industriel, commercial, résidentiel et agricole/forestier. Ces cycles de remplacement des immobilisations donnent la possibilité d'exploiter de nouvelles techniques plus performantes. Il est à noter que dans son analyse, le Groupe de travail II ne cherche pas à quantifier les éventuelles conséquences macro-économiques des mesures d'atténuation. Les analyses macro-économiques sont abordées dans la contribution du Groupe de travail III au Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC. La mesure dans laquelle les

possibilités technologiques et la rentabilité seront concrétisées dépend d'initiatives visant à remédier au manque d'information et à surmonter les obstacles culturels, institutionnels, juridiques, financiers et économiques qui risquent de s'opposer à la diffusion des techniques et à l'évolution des comportements. La mise en oeuvre de mesures d'atténuation peut s'effectuer dans le respect des critères du développement durable. Des facteurs sociaux et écologiques indépendants de la réduction des émissions de gaz à effet de serre risquent cependant de limiter les possibilités ultimes de chacune des solutions envisageables.

4.1 Emissions imputables à l'énergie, aux processus industriels et aux habitats humains

La demande mondiale d'énergie croît à un taux annuel moyen d'environ 2 % depuis près de deux siècles, bien que ce taux ait connu des fluctuations considérables dans le temps et selon les régions considérées. Dans les ouvrages publiés, diverses méthodes et conventions sont utilisées pour caractériser la consommation d'énergie. Ces conventions diffèrent, par exemple, selon leur définition des secteurs et des formes d'énergie. Si l'on regroupe les bilans énergétiques nationaux, on constate que 385 EJ d'énergie primaire ont été consommés dans le monde en 1990, entraînant le rejet de 6 GtC sous forme de CO₂. Sur ce total, 279 EJ, correspondant au rejet de 3,7 GtC sous forme de CO₂, ont abouti aux utilisateurs finals. Les 106 EJ restants, correspondant au rejet de 2,3 GtC sous forme de CO₂, ont servi à la conversion et à la distribution d'énergie. En 1990, les trois plus grands secteurs consommateurs d'énergie ont été l'industrie (45 % du CO₂ total rejeté), les bâtiments à usage d'habitation ou à usage commercial (29 %) et les transports (21 %). De ces trois secteurs, le secteur des transports est celui où la consommation d'énergie et la quantité de CO₂ rejeté se sont accrues le plus rapidement depuis 20 ans. L'évaluation détaillée des possibilités sectorielles d'atténuation présentée dans le présent document est fondée sur les estimations de la consommation d'énergie en 1990 présentées dans divers ouvrages. Plusieurs conventions sont utilisées pour définir ces secteurs et leur consommation d'énergie, dont l'évaluation globale se chiffre entre

259 et 282 EJ.

La figure 4 présente les émissions globales de CO₂ dues à la consommation d'énergie par grande région du monde. Les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ont été et restent de grands consommateurs d'énergie et de grands émetteurs de CO₂ d'origine fossile, bien que leur part des émissions mondiales de carbone émanant de combustibles fossiles soit en baisse. Dans leur ensemble, les pays en voie de développement ont encore une part des émissions totales de dioxyde de carbone dans le monde inférieure à celle des pays industrialisés – c'est-à-dire les pays de l'OCDE, l'ex-Union soviétique et l'Europe de l'Est –, mais selon la plupart des projections, étant donné les taux de croissance économique et démographique prévus, cette part devrait augmenter à l'avenir. Il est prévu que la demande d'énergie continue à s'accroître, du moins pendant la première moitié du XXI^e siècle. Le GIEC (1992 et 1994) prévoit que

faute d'intervention, les émissions dues aux secteurs industriel, des transports et des bâtiments à usage commercial ou d'habitation risquent de s'accroître sensiblement.

4.1.1 Demande d'énergie

Plusieurs études indiquent que dans de nombreuses régions du monde, le rendement énergétique peut s'accroître de 10 à 30 % par rapport au niveau actuel pour un coût net faible ou nul, grâce à des mesures techniques d'économie et à l'amélioration des pratiques de gestion au cours des 20 à 30 prochaines années. Si l'on fait appel aux techniques qui, actuellement, fournissent la plus grande quantité de services énergétiques pour un apport d'énergie donné, il serait techniquement possible, dans de nombreux pays, d'aboutir à des gains d'efficacité de 50 à 60 % pendant la même période. La concrétisation de ces possibilités

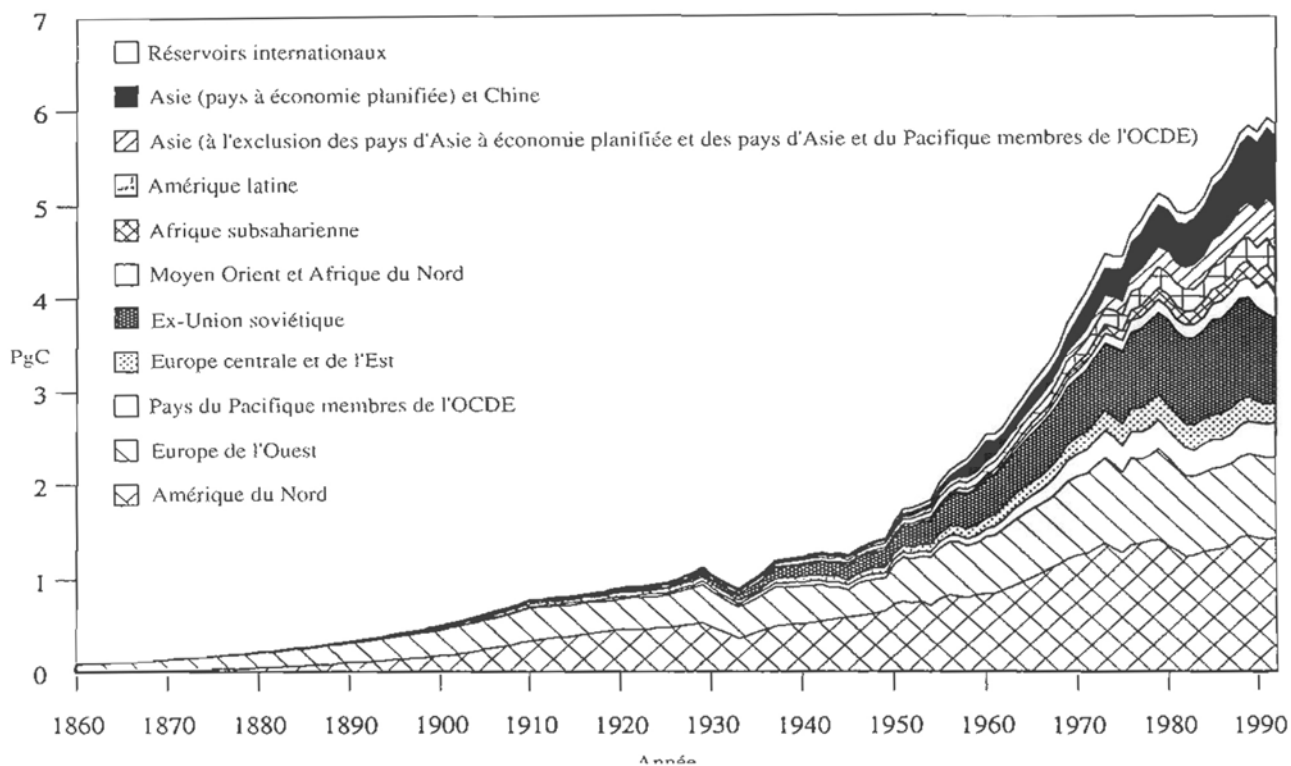


Figure 4. Émissions globales de CO₂ dues à la consommation d'énergie, présentées par grande région du monde et exprimées en GtC/an. Sources: Keeling, 1994; Marland *et al.*, 1994; Grüber et Nakicenovic, 1992; Etemand et Luciani, 1991; Fujii, 1990; ONU, 1952 (voir l'avant propos sur l'énergie pour les informations de bases).

dépendra de la réduction des coûts, du financement et du transfert de technologies, ainsi que des mesures prises pour surmonter divers obstacles non techniques. Le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre est supérieur au potentiel de rentabilisation de la consommation d'énergie en raison de la possibilité de faire appel à des carburants et à des sources d'énergie de remplacement. Comme la consommation d'énergie s'accroît à l'échelle planétaire, les émissions de CO₂ pourraient à l'avenir continuer à augmenter dans l'absolu, même si l'on remplace les techniques actuelles par des techniques plus efficaces.

En 1992, le GIEC a présenté 6 scénarios (IS92a à f) de la consommation d'énergie future et des émissions de gaz à effet de serre correspondantes (GIEC, 1992 et 1995). Ces scénarios proposent une vaste gamme de niveaux possibles d'émissions sans tenir compte d'éventuelles mesures d'atténuation.

Dans le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC, la future consommation d'énergie a été réétudiée de façon plus détaillée par secteur, avec ou sans nouvelles mesures d'atténuation, à partir des analyses existantes. Malgré certaines différences dans les techniques d'évaluation, l'intervalle d'accroissement de la consommation d'énergie d'ici 2025, sans mesures nouvelles, correspond largement à celui du scénario IS92. Si les tendances passées se poursuivent, les émissions de gaz à effet de serre vont augmenter plus lentement que la consommation d'énergie, sauf dans le secteur des transports.

Nous résumons ci-après les possibilités d'amélioration du rendement énergétique présentées dans le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC. Des mesures vigoureuses seraient nécessaires pour concrétiser ces possibilités. La réduction des émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie dépend de la source d'énergie, mais, de façon générale, la réduction de cette consommation va se traduire par une diminution des émissions de gaz à effet de serre.

Industrie. On a estimé qu'en 1990, la consommation d'énergie se situait entre 98 et 117 EJ et qu'elle devrait atteindre 140 à 242 EJ en 2025 si aucune mesure nouvelle n'est adoptée. La consommation

actuelle d'énergie et les émissions correspondantes de gaz à effet de serre imputables à l'industrie évoluent de façon très variable selon les pays. Il est prévu que dans la plupart des pays industrialisés, les émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie du secteur industriel resteront stables ou diminueront en raison de la restructuration industrielle et de l'innovation technique, alors que dans les pays en voie de développement, elles vont augmenter essentiellement à cause de la croissance industrielle. On évalue à 25 % le potentiel d'amélioration du rendement énergétique à court terme dans le secteur de la fabrication des grands pays industriels. Le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre est encore plus élevé. Les techniques et les mesures visant à réduire les émissions dues à la consommation d'énergie dans ce secteur comprennent l'amélioration du rendement (économies d'énergie et de matériel, production combinée électricité-chaleur ("cogénération"), utilisation séquentielle de l'énergie, récupération de vapeur et utilisation de moteurs et autres appareils électriques plus efficaces), le recyclage des matériaux, leur remplacement par d'autres entraînant moins d'émissions de gaz à effet de serre et la mise au point de processus consommant moins d'énergie et de matière première.

Transports. On a estimé qu'en 1990, la consommation d'énergie dans ce secteur se situait entre 61 et 65 EJ et qu'elle devrait atteindre 90 à 140 EJ en 2025 si aucune mesure nouvelle n'est adoptée. La consommation d'énergie prévue pourrait être réduite d'un tiers environ pour s'établir entre 60 et 100 EJ en 2025, grâce à des véhicules dotés d'un système de propulsion efficace, d'une construction légère et d'une conception aérodynamique, sans réduction du confort ni des performances. D'autres réductions de la consommation d'énergie sont possibles grâce à l'utilisation de véhicules plus petits, grâce à la modification du schéma d'occupation des sols, des systèmes de transport, de la conception de la mobilité et du mode de vie, et grâce à la mise en place de moyens de transport qui consomment moins d'énergie. Il serait possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre par unité d'énergie consommée en faisant appel à des carburants de remplacement et à l'électricité provenant de sources renouvelables. Ces mesures, dans leur ensemble, permettraient de réduire le total des émissions dues aux transports dans une

proportion allant jusqu'à 40 % des émissions prévues pour 2025. Elles permettraient en outre de traiter d'autres problèmes tels que la pollution atmosphérique locale.

Secteur résidentiel et commercial. On estime que la consommation d'énergie en 1990 était de l'ordre de 100 EJ et qu'elle devrait atteindre 165 à 205 EJ en 2025 si aucune mesure nouvelle n'est adoptée. La consommation d'énergie prévue pourra être réduite d'un quart environ pour s'établir entre 126 et 170 EJ en 2025, sans réduction des services, grâce à l'emploi de technologies économisant l'énergie. Le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre est plus élevé. Les progrès techniques pourraient porter sur la réduction des pertes de chaleur des bâtiments et sur l'accroissement du rendement énergétique des appareils de climatisation, des réseaux de distribution d'eau, des dispositifs d'éclairage et des appareils électriques. Il est possible de réduire la température ambiante des zones urbaines en augmentant la végétation et la réflectivité des parois d'immeubles, ce qui réduirait la quantité d'énergie nécessaire à la climatisation. Il serait aussi possible, en modifiant les sources d'énergie, d'obtenir une réduction des émissions de gaz à effet de serre plus importante que celle obtenue en diminuant la consommation d'énergie.

4.1.2 Réduction des émissions dues aux processus industriels et aux activités humaines

Les gaz à effet de serre d'origine industrielle, dont le dioxyde de carbone, le méthane, l'azote dinitreux, les hydrocarbures halogénés et l'hexafluorure de soufre, sont rejetés dans l'atmosphère au cours de certains processus industriels et de fabrication tels que la production de fer, d'acier, d'aluminium, d'ammoniaque, de ciment et d'autres produits. Des réductions importantes des émissions sont possibles dans certains cas. Les mesures envisageables comprennent la modification des processus de production, l'élimination des solvants, le remplacement de matières premières et la substitution de matériaux, une intensification du recyclage et une réduction de la consommation d'éléments impliquant le rejet d'une grande quantité de gaz à effet de serre. La récupération et l'exploitation du méthane produit par les décharges et les stations

d'épuration des eaux usées, et la réduction du taux de fuite des réfrigérants halocarbonés émanant d'installations fixes ou mobiles peuvent conduire également à une réduction sensible des émissions de gaz à effet de serre.

4.1.3 Approvisionnement énergétique

La présente évaluation met l'accent sur l'utilisation de nouvelles technologies pour des investissements à faire et non sur l'éventuelle rénovation des immobilisations existantes. Il est possible, sur le plan technique, d'obtenir d'importantes réductions des émissions dans le secteur de l'approvisionnement énergétique dans le cadre du planning normal des investissements destinés à remplacer l'infrastructure et l'équipement au fur et à mesure de leur usure ou de leur obsolescence. Nombre des solutions envisageables pour aboutir à de telles réductions entraîneront également une diminution des émissions de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils. Voici certaines techniques prometteuses, qui ne sont pas classées ici par ordre de priorité.

4.1.3.1 Réduction des émissions de gaz à effet de serre en cas d'utilisation de combustibles fossiles

Augmentation du rendement de conversion des combustibles fossiles. De nouvelles techniques offrent des rendements de conversion nettement plus élevés. Il est par exemple possible de faire passer le rendement de la production d'énergie d'une moyenne mondiale d'environ 30 % actuellement à plus de 60 % à long terme. En outre, le remplacement d'une production distincte d'électricité et de chaleur par une production combinée d'électricité et de chaleur, que cette dernière serve à des processus industriels ou au chauffage des locaux, permet une sensible amélioration du rendement des combustibles.

Passage à des combustibles fossiles à faible teneur en carbone et suppression des émissions. Le passage du charbon au fuel ou au gaz naturel et du fuel au gaz naturel peut conduire à une réduction des émissions. Parmi les combustibles fossiles, le gaz

naturel est celui qui rejette le moins de dioxyde de carbone par unité d'énergie : 14 kgC/GJ environ, contre 20 kgC/GJ environ pour le fuel et 25 kgC/GJ environ pour le charbon. Il est possible, de façon générale, d'obtenir un rendement de conversion plus élevé pour les combustibles à faible teneur en carbone que pour le charbon. Il existe de vastes ressources de gaz naturel dans de nombreuses régions. La nouvelle technique du cycle combiné, peu coûteuse et très efficace a permis de réduire considérablement le coût de l'électricité dans certaines régions. Le gaz naturel pourrait potentiellement remplacer l'essence ou le gasoil dans le secteur des transports. Il existe des moyens de réduire les émissions de méthane provenant des gazoducs et les émissions de méthane et/ou de dioxyde de carbone provenant des puits de gaz et de pétrole et des mines de charbon.

Décarburation des gaz brûlés et des combustibles et stockage du dioxyde de carbone. L'extraction et le stockage du CO₂ contenu dans les gaz de combustion des combustibles fossiles qui alimentent les centrales électriques est possible, mais l'opération réduit le rendement de conversion et accroît sensiblement le coût de production de l'électricité. La décarburation peut également se faire en produisant des combustibles à haute teneur en hydrogène à partir des combustibles fossiles de base. Les deux techniques donnent naissance à un flux de sous-produits riches en CO₂ pouvant être stockés, par exemple, dans des gisements épuisés de gaz naturel. L'exploitation de techniques de conversion telles que les piles à combustible, susceptibles d'accroître le rendement d'utilisation de l'hydrogène, rendrait à l'avenir plus attrayante cette dernière technique. Le coût, les incidences sur l'environnement et l'efficacité de certaines techniques de stockage à plus long terme du CO₂ sont encore largement inconnus.

4.1.3.2 Passage à des sources d'énergie autres que les combustibles fossiles

Passage à l'énergie nucléaire. Dans de nombreuses régions du monde, l'énergie nucléaire pourrait remplacer la production électrique de base à partir de combustibles fossiles, à condition que des réponses généralement acceptables puissent être apportées à des préoccupations telles que celles qui concernent la

sécurité des réacteurs, le transport et l'élimination des déchets radioactifs et la prolifération des combustibles nucléaires.

Passage à des sources d'énergie renouvelables.

L'énergie solaire, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique et l'énergie géothermique sont déjà largement employées. En 1990, les sources d'énergie renouvelables représentaient 20 % environ de la consommation mondiale d'énergie primaire, sous forme essentiellement de bois de chauffage et d'énergie hydroélectrique. Les progrès techniques offrent de nouvelles possibilités et réduisent les coûts de production de l'énergie provenant de ces sources. A long terme, les sources d'énergie renouvelables pourraient répondre à une grande partie de la demande énergétique mondiale. Les réseaux peuvent facilement absorber des fractions limitées d'une production intermittente, et même des fractions plus élevées si l'on y ajoute des modules de secours et de stockage ultra-rapides. Si la biomasse est constamment renouvelée et se substitue aux combustibles fossiles pour la production d'énergie, on évite les émissions de carbone, car le CO₂ libéré pour transformer la biomasse en énergie est de nouveau fixé dans la biomasse par photosynthèse. Si l'on arrive à développer l'énergie de la biomasse tout en apportant une solution aux problèmes écologiques et à la concurrence avec d'autres types d'exploitation du sol, cette énergie pourrait tenir une place importante sur les marchés de la production électrique et des combustibles et offrirait des perspectives d'augmentation des emplois et des revenus dans le milieu rural.

4.1.4 Intégration des mesures d'atténuation au niveau des infrastructures énergétiques

Afin d'évaluer les incidences éventuelles de la combinaison d'un ensemble de mesures isolées au niveau du système énergétique par opposition au niveau des technologies prises individuellement, nous décrivons ici les diverses variantes d'un système d'approvisionnement énergétique à faible taux d'émission de CO₂, baptisé LESS. Les scénarios du système LESS sont des constructions intellectuelles permettant d'envisager différentes possibilités de filières énergétiques au niveau mondial.

Les hypothèses suivantes ont été faites. La population mondiale passe de 5,3 milliards d'habitants en 1990 à 9,5 milliards en 2050 et à 10,5 milliards en 2100. Par rapport à sa valeur de 1990, le PIB est multiplié par 7 en 2050 (par 5 dans les pays industrialisés et par 14 dans les pays en voie de développement) et par 25 en 2100 (par 13 dans les pays industrialisés et par 70 dans les pays en voie de développement). En raison du souci de rendement énergétique, la consommation d'énergie primaire croît beaucoup plus lentement que le PIB. Les scénarios supposent un approvisionnement énergétique correspondant à la demande d'énergie: i) dans le cas d'une variante des projections établies à l'occasion du Premier Rapport d'évaluation du GIEC (1990) supposant une faible demande énergétique, où la consommation commerciale d'énergie primaire dans le monde serait à peu près doublée, sans aucun changement net pour les pays industrialisés mais avec une multiplication par 4,4 entre 1990 et 2100 dans les pays en voie de développement, et ii) dans le cas d'une

variante supposant une plus grande demande d'énergie, définie dans le scénario IS92a du GIEC, où la demande énergétique serait multipliée par 4 entre 1990 et 2100. La demande énergétique définie dans les scénarios du système LESS est cohérente avec celle des chapitres sur la mitigation de ce deuxième rapport d'évaluation.

La figure 5 présente divers assortiments de plusieurs sources d'énergie destinés à faire face à l'évolution de la demande d'énergie au cours du XXI^e siècle. L'analyse de ces variantes conduit aux conclusions suivantes.

- Il est possible, sur le plan technique, de réduire sensiblement d'ici 50 à 100 ans les émissions de CO₂ imputables aux différentes filières énergétiques si l'on fait appel à des stratégies de substitution.
- Diverses combinaisons des possibilités présentées dans le présent document permettraient de réduire la quantité de CO₂ rejetée dans le monde par les

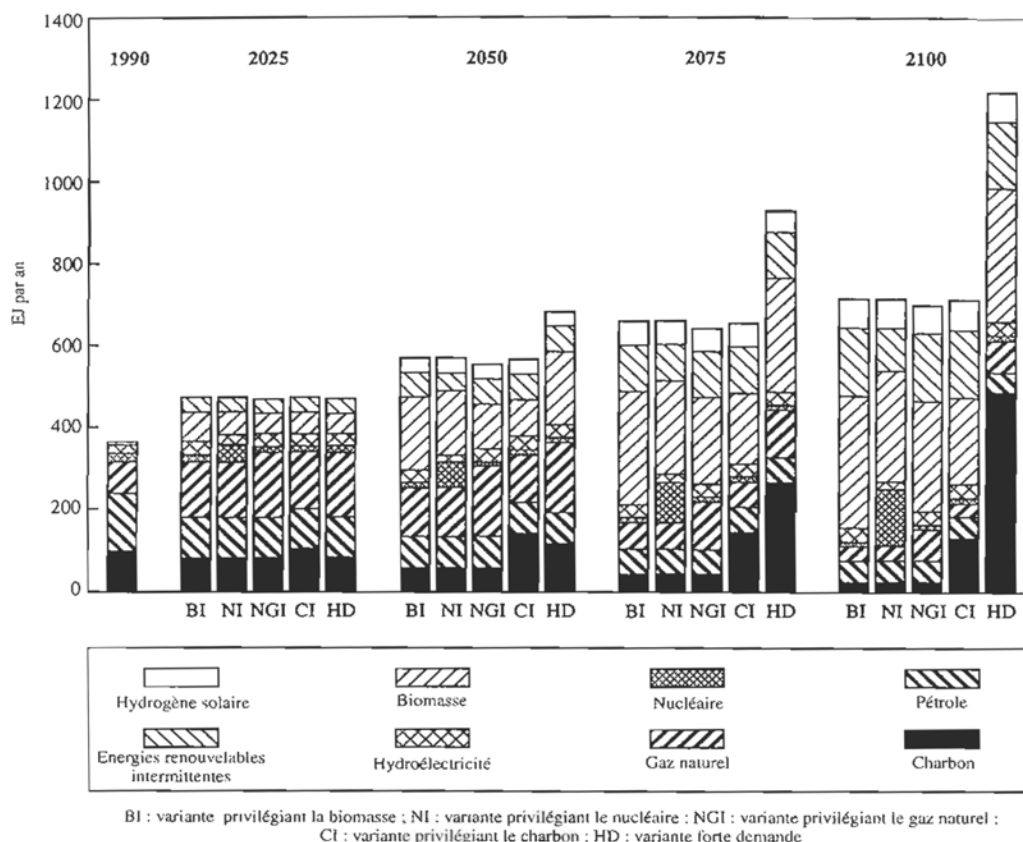


Figure 5. Consommation d'énergie primaire dans le monde selon différents scénarios du système LESS (approvisionnement énergétique à faible taux d'émission de CO₂): possibilités de faire face à l'évolution de la demande d'énergie grâce à diverses combinaisons de sources d'énergie

combustibles fossiles, qui passerait d'environ 6 GtC par an en 1990 à environ 4 GtC par an en 2050 et à environ 2 GtC par an en 2100 (voir la figure 6). La quantité totale de CO₂ rejetée entre 1990 et 2100 se situerait entre 450 et 470 GtC environ dans le cas des divers scénarios du système LESS.

- L'amélioration du rendement énergétique est importante pour obtenir une réduction sensible des émissions de CO₂, donner davantage de souplesse aux combinaisons envisageables du côté de l'offre et réduire le coût global de l'approvisionnement énergétique.
- Dans les scénarios du système LESS, le commerce d'énergie entre les régions prend de l'ampleur par rapport à aujourd'hui, ce qui multiplie les possibilités de développement durable en Afrique, en Amérique latine et au Moyen-Orient au cours du XXI^e siècle.

Dans chacune des variantes du système LESS, le coût des services énergétiques par rapport au coût de

l'énergie classique dépend du prix relatif de l'énergie à l'avenir, qui comporte une grande marge d'incertitude, ainsi que de l'efficacité et du coût attribués aux techniques de substitution. Cependant, étant donné la vaste fourchette dans laquelle s'inscrit le futur prix de l'énergie, l'une ou plusieurs de ces variantes permettraient d'assurer les services énergétiques demandés au prix estimé, qui est environ le même que le prix futur prévu pour l'énergie classique actuelle. Il n'est pas possible de définir une filière énergétique de coût minimal dans un avenir éloigné, car le prix relatif des solutions envisageables dépend de certaines contraintes en matière de ressources et de certaines possibilités techniques qu'on ne connaît qu'imparfaitement, ainsi que des dispositions que prendront les gouvernements et le secteur privé.

La littérature apporte un fort crédit à la possibilité d'atteindre d'ici 20 ans les caractéristiques de performances et de coût retenues pour les techniques de

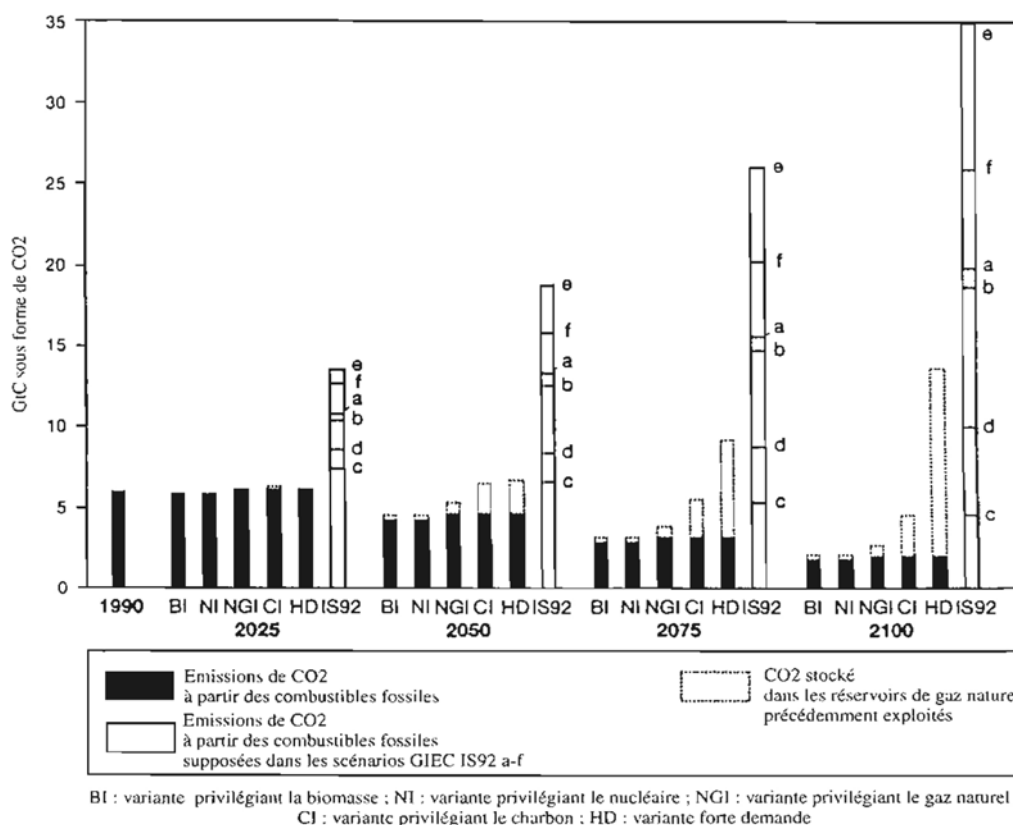


Figure 6. Emissions annuelles de CO₂ à partir des combustibles fossiles pour les diverses constructions LESS, comparées avec les scénarios GIEC IS92 a-f (voir la figure 5 pour la définition des acronymes).

production d'énergie dans les scénarios du système LESS, bien qu'on ne puisse pas en être certain avant que les travaux de recherche-développement aient abouti et que ces techniques aient été testées sur le marché. En outre, de telles caractéristiques ne peuvent être obtenues qu'au prix d'investissements lourds et constants en matière de recherche, de développement et de diffusion. Nombre des techniques en voie d'élaboration auraient besoin d'un appui initial pour pénétrer le marché et atteindre un volume de production suffisant pour permettre un abaissement de leur coût les rendant compétitives.

La pénétration du marché et l'acceptabilité des diverses techniques de production d'énergie dépendent en dernière analyse de leur coût relatif, de leurs performances (notamment en matière d'environnement), ainsi que des dispositions institutionnelles, de la réglementation et des politiques adoptées. La variabilité des coûts selon les endroits et les applications crée des conditions très diverses, propices à une percée initiale des techniques nouvelles sur le marché. Pour mieux comprendre les possibilités de réduction des émissions, il faudrait procéder à une analyse plus détaillée des solutions envisageables, tenant compte des conditions locales.

Etant donné le grand nombre de solutions possibles, il existe une certaine souplesse quant à l'évolution des filières énergétiques. Les voies de développement de ces filières pourraient dépendre de considérations autres que l'évolution du climat - telles que considérations d'ordre politique, écologique (pollution atmosphérique urbaine et à l'intérieur des bâtiments, acidification et régénération des sols, notamment) et socio-économique.

4.2 Agriculture, élevage et exploitation forestière

Outre l'utilisation de combustibles issus de la biomasse pour remplacer les combustibles fossiles, la gestion des forêts, des terres agricoles et des prairies peut contribuer notablement à réduire les émissions actuelles de dioxyde de carbone, de méthane et d'azote dinitreux et à accroître les puits de carbone. Diverses mesures permettraient de sauvegarder et de fixer d'importantes quantités de carbone (de 60 à

90 GtC environ dans le secteur forestier uniquement) au cours des 50 prochaines années. Dans le secteur forestier, les estimations quant au coût de la conservation et de la fixation du carbone dans la biomasse et le sol sont très variables, mais ce coût pourrait être compétitif par rapport à d'autres mesures d'atténuation. Les facteurs influant sur ce coût sont le coût occasionnel du terrain, les frais initiaux de plantation et d'établissement, le coût des pépinières, le coût de l'entretien et du suivi annuel et le coût des transactions. Les avantages directs et indirects, qui varient selon les pays, pourraient compenser ces coûts. D'autres pratiques, dans le secteur agricole, pourraient conduire à une réduction des émissions d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane et l'azote dinitreux. Les mesures envisageables en matière d'aménagement du territoire et de gestion sont :

- le maintien du couvert forestier existant,
- la réduction du déboisement,
- la régénération naturelle des forêts,
- la création de plantations,
- la promotion de l'agrosylviculture,
- la modification de la gestion des terres agricoles et des prairies,
- une meilleure efficacité dans l'utilisation des engrais,
- la remise en état des terres agricoles et des prairies détériorés,
- la récupération du méthane produit par le fumier,
- l'amélioration du régime alimentaire des ruminants.

On a relativement bien déterminé la quantité nette de carbone que les diverses pratiques de gestion forestière et les conditions climatiques actuelles permettent de conserver ou de fixer dans la biomasse par unité de superficie. Les plus grandes incertitudes qui s'opposent à l'évaluation d'une quantité globale sont: i) la quantité de terrain disponible se prêtant au reboisement, à la rénovation et à la régénération, ii) le rythme auquel le déboisement peut être réduit dans les régions tropicales, iii) l'affectation à long terme (protection) de ces terrains et iv) la mesure dans laquelle certaines pratiques continueront d'être adaptées, pour des endroits donnés vu la possibilité d'évolution des températures, de la quantité d'eau disponible, etc. par suite du changement climatique.

4.3 Questions intersectorielles

L'évaluation intersectorielle des diverses combinaisons de mesures d'atténuation repose sur l'interaction de l'ensemble des techniques et des pratiques susceptibles de réduire les émissions de gaz à effet de serre ou de fixer le carbone.

Les analyses effectuées à ce jour permettent d'indiquer ce qui suit.

- **Rivalité pour l'exploitation du sol, de l'eau et d'autres ressources naturelles.** La croissance démographique et l'expansion économique vont entraîner un accroissement de la demande de terrains et d'autres ressources naturelles nécessaires pour la production de denrées alimentaires, de fibres, de produits forestiers et d'activités de loisirs, entre autres. L'évolution du climat va interagir avec ce développement de l'utilisation des ressources. Des terrains et autres ressources pourraient également être nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'accroissement de la productivité agricole dans le monde et notamment dans les pays en voie de développement libérerait davantage de terres pour la production d'énergie à partir de la biomasse.

- **Mesures de géo-ingénierie.** Certaines mesures de géo-ingénierie ont été proposées pour contrebalancer l'évolution du climat due à l'augmentation des gaz à effet de serre (par exemple la mise en orbite de réflecteurs solaires ou l'injection d'aérosols sulfatés dans l'atmosphère pour reproduire l'effet de refroidissement des éruptions volcaniques). De telles mesures risquent généralement d'être inefficaces, d'une mise en oeuvre onéreuse et/ou d'avoir de graves conséquences pour l'environnement, ainsi que d'autres répercussions mal connues dans de nombreux cas.

4.4 Mesures politiques

Pour atténuer l'évolution du climat, il va falloir surmonter les obstacles qui s'opposent à la diffusion et au transfert des technologies, mobiliser des ressources financières, soutenir le renforcement des capacités dans les pays en voie de développement et prendre d'autres mesures favorisant l'évolution des mentalités et le progrès des techniques dans toutes les

régions du monde. Le dosage optimal de ces mesures va varier selon les pays en fonction des structures politiques et de la réceptivité des populations. L'autorité avec laquelle les Etats vont appliquer ces mesures contribuera à atténuer les incidences négatives des changements climatiques. Les gouvernements peuvent choisir des politiques favorisant l'implantation de technologies moins productrices de gaz à effet de serre et l'évolution des modes de consommation. En fait, de nombreux pays ont une vaste expérience de divers moyens d'action permettant d'accélérer l'adoption de telles technologies. Cette expérience leur vient des efforts déployés depuis 20 à 30 ans pour accroître le rendement énergétique, réduire les répercussions des politiques agricoles sur le milieu et atteindre, en matière de conservation et d'environnement, des objectifs indépendants de l'évolution du climat. Les mesures visant à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre semblent plus faciles à mettre en oeuvre si elles visent en même temps d'autres facteurs préjudiciables à un développement durable (la pollution de l'air et l'érosion des sols, par exemple). Diverses mesures, dont certaines pourront nécessiter des accords régionaux ou internationaux, sont susceptibles de faciliter l'implantation de techniques moins productrices de gaz à effet de serre et de conduire à une modification des modes de consommation, par exemple :

- mise en place d'un cadre institutionnel et structurel approprié ;
- stratégie de tarification de l'énergie : taxes sur le carbone ou l'énergie et réduction des subventions à la consommation d'énergie, par exemple ;
- réduction ou suppression d'autres subventions, à l'agriculture et aux transports par exemple, qui conduisent à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre ;
- droits d'émission négociables ;
- initiatives bénévoles et accords négociés avec l'industrie ;
- programmes de gestion de la demande de services publics ;
- dispositions réglementaires portant notamment sur des normes minima de rendement énergétique, par exemple pour les appareils électriques et les économies de carburant ;
- stimulation de la recherche, du développement et

des projets témoins pour mettre à disposition les technologies nouvelles ;

- projets induits par le marché et programmes de démonstration pour stimuler le développement et l'application sur le marché de techniques de pointe ;
- mesures favorisant les sources d'énergie renouvelables pendant le développement des marchés ;
- mesures d'incitation telles que provisions pour amortissement accéléré et réduction des coûts pour les consommateurs ;
- sensibilisation, formation, information et services

consultatifs ;

- mesures tenant également compte d'autres objectifs économiques et environnementaux.

Un développement plus rapide des techniques susceptibles de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'accroître les puits de ces gaz ainsi que la compréhension des obstacles qui s'opposent à leur diffusion sur le marché requièrent, une intensification des actions de recherche et de développement menées par les gouvernements et le secteur privé. ■

Auteurs/Contributeurs

Robert T. Watson, Etats-Unis ; M. C. Zinyowera, Zimbabwe ; Richard H. Moss, Etats-Unis ; Roberto Acosta Moreno, Cuba ; Sharad Adhikary, Népal ; Michael Adler, Etats-Unis ; Shardul Agrawala, Inde ; Adrian Guillermo Aguilar, Mexique ; Saiyed Al-Khouli, Arabie saoudite ; Barbara Allen-Diaz, Etats-Unis ; Mitsuru Ando, Japon ; Rigoberto Andressen, Venezuela ; B.W. Ang, Singapour ; Nigel Arnell, Royaume-Uni ; Anne Arquit Niederberger, Suisse ; Walter Baethgen, Uruguay ; Bryson Bates, Australie ; Martin Beniston, Suisse ; Rosina Bierbaum, Etats-Unis ; Luitzen Bijlsma, Pays-Bas ; Michel Boko, Bénin ; Bert Bolin, Suède ; Suzanne Bolton, Etats-Unis ; Evelyne Bravo, Venezuela ; Sandra Brown, Etats-Unis ; Peter Bullock, Royaume-Uni ; Melvin Cannell, Royaume-Uni ; Osvaldo Canziani, Argentine ; Rodolfo Carcavallo, Argentine ; Carlos Clemente Cerri, Brésil ; William Chandler, Etats-Unis ; Fred Cheghe, Kenya ; Chunzhen Liu, Chine ; Vernon Cole, Etats-Unis ; Wolfgang Cramer, Allemagne ; Rex Victor Cruz, Philippines ; Ogunlade Davidson, Sierra Léone ; Ehrlich Desa, Inde ; Deying Xu, Chine ; Sandra Diaz, Argentine ; Andrew Dlugolecki, Ecosse ; James Edmonds, Etats-Unis ; John Everett, Etats-Unis ; Andreas Fischlin, Suisse ; Blair Fitzharris, Nouvelle-Zélande ; Douglas Fox, Etats-Unis ; Jaafar Friaa, Tunisie ; Alexander Rauja Gacuhi, Kenya ; Wojciech Galinski, Pologne ; Habiba Gitay, Australie ; Peter Groffman, Etats-Unis ; Arnulf Grubler, Autriche ; Howard Gruenspecht, Etats-Unis ; Steven Hamburg, Etats-Unis ; Timm Hoffman, Afrique du Sud ; Jarle Inge Holten, Norvège ; Hisashi Ishitani, Japon ; Venugopalan Ittekkot, Allemagne ; Thomas Johansson, Suède ; Zdzislaw Kaczmarek, Pologne ; Takao Kashiwagi, Japon ; Miko Kirschbaum, Australie ; Paul Kronor, Etats-Unis ; Andrei Krovnin, Fédération de Russie ; Richard Klein, Pays-Bas ; Shashi Kulshrestha, Inde ; Herbert Lang, Suisse ; Henry Le Houerou, France ; Rik Leemans, Pays-Bas ; Mark Levine, Etats-Unis ; Lin Erda, Chine ; Daniel Lluch-Belda, Mexique ; Michael MacCracken, Etats-Unis ; John Magnuson, Etats-Unis ; Gabriel Mailu, Kenya ; Joseph Mworira Maitima, Kenya ; Gregg Marland, Etats-Unis ; Kathy Maskell, Royaume-Uni ; Roger McLean, Australie ; Anthony McMichael, Australie/Royaume-Uni ; Laurie Michaelis, France ; Ed Miles, Etats-Unis ; William Moomaw, Etats-Unis ; Roberto Moreira, Brésil ; Nebojsa Nakicenovic, Autriche ; Robert Nicholls, Royaume-Uni ; Shuzo Nishioka, Japon ; Ian Noble, Australie ; Leonard Nurse, Barbade ; Rispa Odongo, Kenya ; Ryousuke Ohashi, Japon ; Ezekiel Okemwa, Kenya ; Mats Oquist, Suède ; Martin Parry, Royaume-Uni ; Martha Perdomo, Venezuela ; Michel Petit, France ; Warren Piver, Etats-Unis ; P.S. Ramakrishnan, Inde ; N.H. Ravindranath, Inde ; John Reilly, Etats-Unis ; Arthur Riedacker, France ; Hans-Holger Rogner, Canada ; Jayant Sathaye, Etats-Unis ; Dieter Sauerbeck, Allemagne ; Michael Scott, Etats-Unis ; Subodh Sharma, Inde ; David Shriner, Etats-Unis ; S.K. Sinha, Inde ; Jim Skea, Royaume-Uni ; Allen Solomon, Etats-Unis ; Eugene Stakhiv, Etats-Unis ; Oedon Starosolszky, Hongrie ; Su Jilan, Chine ; Avelino Suarez, Cuba ; Bo Svensson, Suède ; Hidekazu Takakura, Japon ; Melissa Taylor, Etats-Unis ; Lucien Tessier, France ; Dennis Tirpak, Etats-Unis ; Tran Viet Lien, Vietnam ; Jean-Paul Troadec, France ; Hiroshi Tsukamoto, Japon ; Itsuya Tszuzaka, Japon ; Pier Vellinga, Pays-Bas ; Ted Williams, Etats-Unis ; Patrick Young, Etats-Unis ; Youyu Xie, Chine ; Zhou Fengqi, Chine.